UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 01391079 9

Digitized by the Internet Archive
in 2026 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/lehrbuchderbotan00stra_0

[illegible]

Herrn Geheimrath Prof. Dr. Freiherrn v. d. Goltz in dankbarer Ergebenheit von F. Noll.

Preis: brosch. 7 ℳ 50 ₰, geb. 8 ℳ 50 ₰.

LEHRBUCH DER BOTANIK FÜR HOCHSCHULEN.

6. Auflage

VON

DR. EDUARD STRASBURGER
O. Ö. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT BONN.

DR. FRITZ NOLL
PROF. A. D. LANDW. AKAD. POPPELSDORF, A. O. PROF. A. D. UNIV. BONN.

DR. HEINRICH SCHENCK
PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE DARMSTADT.

DR. GEORGE KARSTEN
A. O. PROFESSOR A. D. UNIV. BONN.

MIT 741 ZUM TEIL FARBIGEN ABBILDUNGEN.

SECHSTE UMGEARBEITETE AUFLAGE.

*

JENA,
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.
1904.

Verlag von GUSTAV FISCHER in Jena.

Histologische Beiträge.

Von Dr. **Eduard Strasburger,** o. ö. Professor der Botanik an der Universität Bonn.

Heft 1: **Über Kern- und Zellteilung im Pflanzenreiche** nebst einem Anhang über Befruchtung. Mit 3 lithographischen Tafeln. Preis: 7 *M.*

Heft 2: **Über das Wachstum vegetabilischer Zellhäute.** Mit 4 lithographischen Tafeln. Preis: 7 *M.*

Heft 3: **Über den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen.** Mit 5 lithographischen Tafeln und 17 Abbildungen im Text. Preis: 24 *M.*

Heft 4: **Das Verhalten des Pollens und die Befruchtungsvorgänge bei den Gymnospermen. — Schwärmsporen, Gameten, pflanzliche Spermatozoiden und das Wesen der Befruchtung.** Mit 3 lithographischen Tafeln. Preis: 7 *M.*

Heft 5: **Über das Saftsteigen. — Über die Wirkungssphäre der Kerne und die Zellgrösse.** Preis: 2 *M* 50 *Pf.*

Heft 6: **Über Reduktionsteilung, Spindelbildung, Centrosomen und Cilienbildner im Pflanzenreich.** Preis: 10 *M* 50 *Pf.*

Studien über Protoplasma.

Von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Mit 2 Tafeln. Preis: 2 *M* 40 *Pf.*

Über die Bedeutung phylogenetischer Methoden für die Erforschung lebender Wesen.

Von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Preis 1 *M* 20 *Pf.*

Über den Bau und das Wachstum der Zellhäute.

Von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Mit 8 Tafeln. Preis: 10 *M.*

Zellbildung und Zellteilung.

Von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Dritte völlig umgearbeitete Auflage. Mit 14 Tafeln und 1 Holzschnitt. Preis: 15 *M.*

Das Protoplasma und die Reizbarkeit.

Von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Rede zum Antritt des Rektorates d. Rhein. Friedr.-Wilh.-Universität am 1. Okt. 1891. Preis: 1 *M.*

Wirkungen des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen.

Von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Preis: 1 *M* 60 *Pf.*

Die Angiospermen und Gymnospermen.

Von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Mit 22 Tafeln. Preis: 25 *M.*

Neue Untersuchungen über den Befruchtungsvorgang bei den Phanerogamen

als Grundlage für eine Theorie der Zeugung. Von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Mit 2 lithographischen Tafeln. Preis: 5 *M.*

Das kleine botanische Praktikum für Anfänger.

Anleitung zum Selbststudium der Mikroskopischen Botanik und Einführung in die mikroskopische Technik, von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Vierte umgearbeitete Auflage. Mit 128 Holzschnitten. 1902. Preis: 6 *M*, geb. 7 *M.*

Das botanische Praktikum.

Anleitung zum Selbststudium der Mikroskopischen Botanik für Anfänger und Geübtere, zugleich ein Handbuch der mikroskopischen Technik, von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Vierte umgearbeitete Auflage. Mit 230 Holzschnitten. 1902. Preis: 20 *M*, geb. 22 *M* 50 *Pf.*

Bot. S.

LEHRBUCH

DER

BOTANIK

FÜR

HOCHSCHULEN.

VON

DR. EDUARD STRASBURGER
O. Ö. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT BONN.

DR. FRITZ NOLL
PROFESSOR A. D. LANDW. AKAD. POPPELSDORF,
A. O. PROFESSOR A. D. UNIV. BONN.

DR. HEINRICH SCHENCK
PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN
HOCHSCHULE DARMSTADT.

DR. GEORGE KARSTEN
A. O. PROFESSOR A. D. UNIV. BONN.

SECHSTE UMGEARBEITETE AUFLAGE.

MIT 741 ZUM TEIL FARBIGEN ABBILDUNGEN.

8825-3
16/6/08.

JENA
VERLAG VON GUSTAV FISCHER
1904.

Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort zur I. Auflage.

Die Verfasser dieses Lehrbuchs wirken seit Jahren als Docenten der Botanik an der Universität Bonn zusammen. Sie haben dauernd in wissenschaftlichem Gedankenaustausch gestanden und sich in ihrer Lehraufgabe vielfach unterstützt. Sie versuchen es jetzt gemeinschaftlich, ihre im Lehren gesammelten Erfahrungen in diesem Buche niederzulegen. Den Stoff haben sie so untereinander verteilt, daß Eduard Strasburger die Einleitung und die Morphologie, Fritz Noll die Physiologie, Heinrich Schenck die Kryptogamen, A. F. W. Schimper die Phanerogamen übernahm.

Trägt auch jeder Verfasser die wissenschaftliche Verantwortung nur für den von ihm bearbeiteten Teil, so war doch das einheitliche Zusammenwirken Aller durch anhaltende Verständigung gewahrt. Es darf daher das Buch, ungeachtet es mehrere Verfasser zählt, Anspruch auf eine einheitliche Leistung erheben.

Dieses Lehrbuch ist für die Studierenden der Hochschulen bestimmt und soll vor allem wissenschaftliches Interesse bei ihnen erwecken, wissenschaftliche Kenntnis und Erkenntnis bei ihnen fördern. Zugleich nimmt es aber auch Rücksicht auf die praktischen Anforderungen des Studiums und sucht den Bedürfnissen des Mediziners und Pharmaceuten gerecht zu werden. So wird der Mediziner aus den farbigen Bildern die Kenntnis derjenigen Giftpflanzen erlangen können, die für ihn in Betracht kommen, der Pharmaceut die nötigen Hinweise auf officinelle Pflanzen und Droguen in dem Buche finden.

Die Abbildungen wurden, wo nichts anderes angegeben steht, von den Verfassern selbst angefertigt.

Nicht genug ist das Entgegenkommen des Herrn Verlegers zu rühmen, der die Kosten der farbigen Darstellungen im Texte nicht scheute, und der überhaupt Alles aufgeboten hat, um dem Buche eine vollendete Ausstattung zu geben.

Bonn, im Juli 1894.

Die Verfasser.

Vorwort zur III. Auflage.

Die rasche Folge neuer Auflagen unseres Lehrbuchs beweist uns, daß es an vielen Orten wohlwollende Aufnahme und Anerkennung fand. Um so mehr fühlten wir uns verpflichtet, auch diese neue Auflage auf der Höhe der Wissenschaft zu erhalten und durch entsprechende Umarbeitung ihren didaktischen Wert noch zu steigern. Der an unserem Lehrbuch geübten Kritik suchten wir nach Möglichkeit gerecht zu werden, berücksichtigten im besonderen auch die wertvollen Ratschläge, die uns, auf unsere Bitte, von befreundeten Kollegen zuteil wurden.

Einem wiederholt ausgesprochenen Wunsche folgend, fügen wir dieser III. Auflage unseres Lehrbuchs einen Literaturnachweis bei. Die eingeklammerten Zahlen im Text verweisen auf ihn. Eine vollständige Literaturübersicht war nicht beabsichtigt; sie hätte den Umfang des Buches ungebührlich vergrößert. Wir stellten uns vielmehr nur die Aufgabe, durch unseren Literaturnachweis das Auffinden der in Betracht kommenden Werke zu erleichtern. Daher für den allgemeinen Teil unseres Lehrbuchs die Angaben sich vornehmlich auf die grundlegenden und die neueren Veröffentlichungen beschränken. Für den speziellen Teil wurde auch auf solche Werke hingewiesen, welche Abbildungen enthalten, die zu vergleichen gegebenenfalls erwünscht sein könnte.

Die Bereitwilligkeit, mit welcher der Herr Verleger auf alle unsere Wünsche einging, ist über alles Lob erhaben. Nicht nur wurden zahlreiche ältere Holzschnitte unseres Lehrbuchs in dieser Auflage durch neue ersetzt, sondern auch die Zahl der kostspieligen farbigen Abbildungen weit mehr als verdoppelt. So enthält diese neue Auflage nicht nur die Giftpflanzen, sondern auch die wichtigsten officinellen Gewächse in kunstvoller farbiger Wiedergabe. Unser Lehrbuch ist bei seiner vorzüglichen Ausstattung schon in der I. Auflage als ein Ereignis auf dem Gebiete des Buchdrucks gefeiert worden. Dank der Opferwilligkeit des Herrn Verlegers dürfte dieser Ruhm der III. Auflage unseres Lehrbuches in noch erhöhterem Maße zuteil werden. Über den Wert farbiger Bilder, die sich in ihrem natürlichen Gewande weit besser dem Gedächtnis einprägen, herrscht jetzt wohl nur eine Meinung, so daß es überflüssig erscheint, für sie besonders einzutreten.

So erwarten wir zuversichtlich, daß auch diese III. Auflage unseres Lehrbuchs wohlwollende Aufnahme finden und den erhofften Nutzen stiften wird.

Bonn, im März 1898.

Die Verfasser.

Vorwort zur VI. Auflage.

Aus der gleichmäßig fortschreitenden Aufeinanderfolge neuer Auflagen unseres Lehrbuchs schöpfen wir fortdauernd neue Anregung, es auf der Höhe seiner Aufgabe zu halten. Diese sechste Auflage hat ganz besonders viele Verbesserungen und Änderungen aufzuweisen. Morphologie, Physiologie und Kryptogamen wurden wiederum einer eingehenden Durchsicht unterworfen, die Phanerogamen aber, durch G. KARSTEN, vollständig umgearbeitet.

Sowohl in der Morphologie und der Physiologie, wie auch in dem speziellen Teile, fanden alle wichtigeren Ergebnisse der neueren und neuesten Forschung Berücksichtigung.

Vornehmlich weist der Abschnitt über Festigungseinrichtungen in der Physiologie eine Erweiterung des Textes und Vermehrung der Figuren auf. Eine größere Zahl anderer, ebenfalls neu aufgenommener Abbildungen ist dazu bestimmt, die Besonderheiten ökologischer Einrichtungen zu veranschaulichen und verständlicher zu machen.

In der Abteilung der Phanerogamen erhielt der Anschluß an die Kryptogamen eine gesonderte Darstellung; auch ist die ganze Klasse der Gymnospermen etwas eingehender behandelt. Die Bearbeitung der Angiospermen folgt im allgemeinen der in den Natürlichen Pflanzenfamilien von ENGLER und PRANTL eingehaltenen Reihenfolge, ohne sich jedoch in allen Einzelheiten an sie zu binden. Durch Beschränkung der Ordnungs- und Familiendiagnosen auf das unbedingt Notwendige und allgemein Zutreffende wurde Raum für genauere Beschreibung interessanter und wichtiger Pflanzen gewonnen.

Der Herr Verleger scheute seinerseits kein Opfer, um zu erreichen, daß das Buch in seiner technischen Ausstattung den ersten Rang behaupte. Er selbst äußerte den Wunsch, wir möchten noch vorhandene, fremden Werken entnommene Habitusbilder möglichst durch Originale ersetzen. Da die Kunst des Farbendrucks seit dem Erscheinen der I. Auflage dieses Werkes wesentliche Fortschritte machte, so veranlaßte der Herr Verleger uns auch, neue Vorlagen für die farbigen Abbildungen zu schaffen. Diese sind von Herrn DR. ANHEISSER, meist nach der Natur, entworfen worden.

So erscheint diese VI. Auflage unseres Lehrbuchs nicht nur stark umgearbeitet, sondern auch, dank der Opferwilligkeit unseres Herrn Verlegers, in ganz verjüngtem Gewande. Möge sie fortfahren sich Freunde zu werben.

Bonn, im Oktober 1903.

Die Verfasser.

Inhaltsübersicht.

	Seite		Seite
Vorwort zur I. Auflage	III	Vorwort zur VI. Auflage	V
Vorwort zur III. Auflage	IV	Einleitung	1

Erster Teil. Allgemeine Botanik.

Erste Abteilung.

	Seite
Morphologie	6
Erster Abschnitt. Äußere Morphologie	7
Die Formentwicklung im Pflanzenreich	7
Der Sproß	14
Metamorphose der Sprosse	18
Die Blätter	24
Metamorphose der Blätter	35
Die Wurzel	37
Metamorphose der Wurzel	40
Emergenzen	41
Ontogenie der Pflanzen	41
Regeneration	45
Zweiter Abschnitt. Innere Morphologie (Histologie und Anatomie)	45
I. Zellenlehre	45
A. Zelle	45
Das Protoplasma	48
Die Zellhaut	55
Einschlüsse des Protoplasma	63
Der Zellsaft	67
Ontogenie der Zelle	68
B. Zellfusionen	77
II. Gewebelehre	80
A. Primäre Gewebe	83
B. Sekundäre Gewebe	105
Phylogenie der inneren Gestaltung	124
Ontogenie der inneren Gestaltung	125
Bildungsabweichungen	132

Zweite Abteilung.

	Seite
Physiologie	134
Physikalische und vitale Eigenschaften. Allgemeine Lebensbedingungen	136
Die Festigung des Pflanzenkörpers	140
Die Ernährung	148
Die Atmung	192
Das Wachstum	199
Die Bewegungserscheinungen	214
Die Fortpflanzung	242

Zweiter Teil. Spezielle Botanik.

Erste Abteilung.

	Seite
Kryptogamen	264
Thallophyta	265
Flagellata	267
Myxomycetes	267
Bacteria	269
Cyanophyceae	274
Diatomeae	275
Peridineae	278
Conjugatae	279
Chlorophyceae	281
Phaeophyceae	289
Rhodophyceae	294
Characeae	298
Hyphomycetes	300
Lichenes	327
Bryophyta	332
Hepaticae	335
Musci	340
Pteridophyta	345
Filices	349
Hydropterides	354
Equisetinae	358
Lycopodinae	361
Fossile Kryptogamen	366

Zweite Abteilung.

	Seite
Phanerogamen	369
Anschluß an die Kryptogamen	369
Übersicht der Klassen, Ordnungen und Familien	374
Gymnospermae	375
Entwicklung der Geschlechtsgeneration	375
Cycadinae	379
Ginkgoinae	383
Coniferae	384
Gnetinae	392

	Seite
Fossile Gymnospermen	393
Angiospermae	394
Angiospermenblüte. Blütenstände	401
Geschlechtsgeneration	404
Frucht	408
Monokotylae	411
Helobiae	412
Glumiflorae	413
Spadiciflorae	418
Enantioblastae	424
Liliiflorae	424
Scitamineae	432
Gynandrae	433
Dikotylae	436
Choripetalae	437
Piperinae	437
Amentiflorae	438
Urticinae	445
Centrospermae	448
Polycarpicae	452
Rhoeadinae	464
Insectivorae	469
Saxifraginae	469
Rosiflorae	470
Leguminosae	475
Gruinales	485
Tricoccae	489
Sapindinae	492
Frangulinae	495
Columniferae	496
Cistiflorae	499
Passiflorinae	502
Opuntinae	502
Thymelaeïnae	503
Myrtiflorae	503
Umbelliflorae	507
Hysterophyta	512
Sympetalae	514
Pentacyclicae	515
Ericinae	515
Diospyrinae	516
Primulinae	516
Tetracyclicae	518
Contortae	518
Tubiflorae	524
Personatae	528
Rubiinae	537
Campanulinae	541
Aggregatae	544
Fossile Angiospermen	550
Literaturnachweise	553
Systematisches Verzeichnis der officinellen und giftigen Gewächse	566
Register	570

Einleitung.

Alle lebenden Wesen, die unsere Erde bewohnen, pflegt man dem Tier- oder dem Pflanzenreiche einzureihen, in Wirklichkeit wird aber eine sichere Unterscheidung von Tieren und Pflanzen erst möglich, wenn sie einen zusammengesetzteren Bau aufweisen. Bei sehr einfachen Wesen verwischen sich die Unterschiede und ist es daher auch schwer, eine Grenze zwischen den Gebieten der Zoologie und der Botanik zu ziehen. Da die Lebensvorgänge im Tier- und Pflanzenreich an dieselbe Grundsubstanz, das Protoplasma, gebunden sind, so kann das nicht anders sein. Mit steigender Höhe der Organisation wächst aber die Summe der spezifischen Merkmale; die tierischen oder pflanzlichen Charaktere prägen sich aus. Doch muß es uns stets gegenwärtig bleiben, daß die übliche Unterscheidung von Tieren und Pflanzen zunächst nur auf einer Abstraktion unseres Verstandes beruht. Sie stützt sich auf Begriffe, die wir auf Grund bestimmter Übereinstimmungen unter den lebenden Wesen uns gebildet haben. Eine tatsächliche Grundlage würde diese Abstraktion erst durch den Nachweis gewinnen, daß die von uns als Tiere bezeichneten Wesen genetisch zusammenhängen und daß ein ähnlicher Zusammenhang unter den Pflanzen besteht. Der Weg zu einem solchen Nachweis ist in der Descendenzlehre angebahnt.

Die Paläontologie lehrt auf Grund der aufgefundenen tierischen und pflanzlichen Versteinerungen und Abdrücke, daß in früheren Erdperioden andere Wesen als jetzt unseren Erdball bewohnten. Man nimmt heute an, daß die jetzigen Wesen aus jenen älteren durch allmähliche Veränderung hervorgegangen seien. Diese Annahme führt aber zu der weiteren Folgerung, daß Wesen von nahe übereinstimmendem Bau, etwa solche Wesen, die wir als Arten in einer Gattung vereinigen, wirklich untereinander verwandt sind, und sie macht es wahrscheinlich, daß auch die Vereinigung übereinstimmender Gattungen zu einer Familie, beziehungsweise von Familien zu einer noch höheren Einheit, verwandtschaftliche Beziehungen zum Ausdruck bringt.

Den mutmaßlichen Ursprung jetzt lebender Wesen aus früher bestehenden hat ERNST HAECKEL(1) ihre phylogenetische Entwicklung, oder Phylogenie genannt; die Entwicklung, welche jedes der jetzt lebenden Wesen durchmacht, um den fertigen Zustand zu erreichen, seine ontogenetische Entwicklung, oder Ontogenie. Auf Grund vergleichender Untersuchungen gelangte FRITZ MÜLLER(2) zu der Annahme, daß die Aufeinanderfolge der Zustände in der ontogenetischen Entwicklung der Aufeinanderfolge ihres Auftretens in der phylogenetischen entspricht, daß die Ontogenie somit eine mehr oder weniger vollständige Wiederholung der Phylogenie sei.

Die Vorstellung, daß die Welt der höher organisierten Wesen sich langsam aus einfacher gebauten entwickelt habe, reicht bis auf die griechische Philosophie zurück; eine wissenschaftliche Begründung erhielt sie erst in dem letzten Jahrhundert. Im besonderen waren es die Werke von Charles Darwin (3), welche die großen Probleme der organischen Entwicklung wieder in Fluß brachten und durch Häufung des Beweismaterials den Glauben an die Unveränderlichkeit der Arten endgültig erschütterten.

Charles Darwin ist der Schöpfer der sogen. Selektionstheorie. Er ging von der Variabilität der lebenden Wesen aus, von der Tatsache, daß die Kinder eines Elternpaares weder diesem, noch einander völlig gleichen. Er verwertete für seine Theorie die bestehende Überproduktion der Keime, die zu einer Zerstörung der meisten von ihnen führen muß. Denn die einfachste Berechnung lehrt, daß wenn alle Keime zur Entfaltung kämen, schon die von einem einzigen Elternpaar erzeugten, nach einer begrenzten Anzahl von Generationen den Erdball füllen würden. Da weniger Platz vorhanden ist als Bewerber um ihn, so bestehe ein ununterbrochener Kampf unter den einzelnen Individuen, in welchem diejenigen siegen, die im Vorteil gegen die andern sind: daher die Annahme eines „Kampfes ums Dasein" unter den Organismen. Dieser Kampf sei ein züchtendes Prinzip, das unter den durch individuelle Variabilität neu auftretenden Eigenschaften eine Auswahl treffe und solchen die Erhaltung sichere, die sich unter den gegebenen Bedingungen als besonders vorteilhaft erweisen. So kam Charles Darwin zu der Vorstellung einer „natürlichen Zuchtwahl", welche den Kern seiner Theorie bildet. Neu auftretende Eigenschaften müssen aber erblich sein, sollen sie zu dauernden Merkmalen kommender Generationen werden. Ihre Erblichkeit sucht Charles Darwin durch die Erfahrungen der künstlichen Züchtung zu stützen. Der Züchter geht zielbewußt zu Werke und wählt solche Individuen zur Nachzucht aus, welche die ihm erwünschten Eigenschaften aufweisen. So züchtete er die Haustiere und Kulturpflanzen, welche jetzt den Menschen umgeben. Vielfach weichen solche Wesen von ihren wilden Ursprungsformen so bedeutend ab, daß es kaum mehr gelingt, diese zu ermitteln. In gleicher Weise wie die künstliche Zuchtwahl, jedoch unbewußt, soll die natürliche wirken und durch fortgesetzte Auswahl individueller Eigenschaften, welche vererbt und daher den früheren hinzugefügt werden, neue Gestalten schaffen, die von der Ursprungsform schließlich stark abweichen. Die dauernde Auswahl der vorteilhaftesten Abweichungen müsse aber zur Ausbildung solcher Arten führen, welche den gegebenen Bedingungen in hohem Maße angepaßt seien. So sucht die Selektionstheorie aus natürlichen Ursachen die Zweckmäßigkeit abzuleiten, die uns im Bau und in den Verrichtungen der lebenden Wesen auffällt. Daß Übergangsformen, wie sie die phylogenetische Entstehung fordert, zwischen den Arten meist fehlen, sucht die Selektionstheorie aus dem Wettbewerb zu erklären, der am stärksten sein muß unter Wesen, die einander am meisten gleichen. Denn solche Wesen haben übereinstimmende Bedürfnisse. Besser ausgerüstete neue Formen müssen daher ihrer Ursprungsform bald die Existenzbedingungen rauben und ihre Vernichtung veranlassen.

Seit dem Erscheinen der Darwinschen Werke waren zahlreiche Forscher bemüht, unsere Anschauungen auf phylogenetischem Gebiet weiter zu klären und zu fördern. Im besondern versuchen Botaniker jetzt, durch planmäßige Kulturen entsprechend ausgewählter Pflanzen, Einblick in die Gesetze der phylogenetischen Entwicklung zu gewinnen. Aus solchen Kulturen scheint hervorzugehen (4), daß es nicht die „fluktuierenden Variationen", die jede Art fortdauernd aufweist, sind, welche den Ausgangspunkt für die

Bildung neuer Arten abgeben. Denn diese fluktuierenden Variationen schwanken hin und her, gewissermaßen um einen Ruhepunkt, der eben die Charaktere der gegebenen Art darstellt. Die allmähliche Veränderung der Art soll vielmehr durch Abweichungen bewirkt werden, die unvermittelt bei einer größeren Zahl von Vertretern einer gegebenen Art sich gleichzeitig einstellen, durch einen hohen Grad von Vererbbarkeit ausgezeichnet sind und daher Aussicht haben, dauernd fortzubestehen. Diese Abweichungen sind im Gegensatz zu den fluktuierenden Variationen als Mutationen bezeichnet worden. Man neigt demgemäß jetzt dazu, eine von jeder Züchtung unabhängige, fortschreitende Entwicklung der organischen Welt anzunehmen, und sie auf ursprüngliche, der lebendigen Substanz innewohnende Fähigkeiten zurückzuführen. Dieser Entwicklung sollen die großen Abteilungen des Tier- und Pflanzenreichs, die „Architypen", ihre Entstehung verdanken([5]). Auf diese Architypen wirkte und wirkt fortdauernd die Außenwelt ein. Durch innere Reaktion auf die äußeren Einflüsse vermögen die Organismen sich ihnen mehr oder weniger direkt anzupassen. Dadurch kommen oft auffallende äußere Ähnlichkeiten von Wesen zu stande, welche unter übereinstimmenden Bedingungen leben, ungeachtet sie verschiedenen Architypen angehören([6]). Die fortschreitende Entwicklung der Architypen ist, so wie ihre unmittelbare Anpassung an die äußeren Bedingungen, unabhängig von der Zuchtwahl. Diese greift aber, wenn auch in weit begrenzterem Maße als es früher schien, in die Entwicklungsvorgänge der organischen Welt ebenfalls ein. Sie wirkt im besonderen dort, wo aus den gegenseitigen Beziehungen der Wesen untereinander sich eine Zuchtwahl ergibt. Sie sorgt andererseits für die Beseitigung der durch Mutation entstandenen minder vorteilhaften Abweichungen und trägt so vor allem zur Scheidung der Arten bei.

Sind die höher organisierten Wesen aus niederen hervorgegangen, so schließt dieser Ursprung auch eine scharfe Grenze zwischen dem Tier- und dem Pflanzenreich aus. Denn die besonderen tierischen oder pflanzlichen Merkmale waren zu Beginn noch nicht vorhanden und stellten sich erst im Laufe der phylogenetischen Entwicklungen ein. Die einfachsten Wesen, welche jetzt existieren, sind allem Anschein nach denen ähnlich, die an den Ausgangspunkten dieser Entwicklung standen. Für die Ausprägung der spezifischen pflanzlichen Charaktere wurden mit fortschreitender Entwicklung maßgebend: die Hüllen, welche die einzelnen Elementarorgane der Pflanze umgeben, und die grünen Farbkörper, die in diesen Elementarorganen vertreten sind. Durch das Einschließen der lebendigen Substanz dieser Elementarorgane in feste Hüllen wurde ihr Zusammenwirken erschwert und damit die Leistungsfähigkeit der Pflanze im Verhältnis zum Tier herabgesetzt. Der grüne Farbstoff befähigte andererseits die Pflanze, aus bestimmten Bestandteilen der Luft, des Wassers und der Bodensalze Nährstoffe herzustellen und selbständig zu existieren, während das Tier in seiner Ernährung, unmittelbar oder mittelbar, auf die Pflanze angewiesen, in seinem Bestehen von ihr somit abhängig wurde. Aus dem Bau der Pflanze und aus der Art ihrer Ernährung lassen sich fast alle sonstigen Unterschiede ableiten, nach welchen ausgeprägte Pflanzen und Tiere sich trennen lassen. Als für die Pflanze bezeichnend kann auch ihre ontogenetische Entwicklung gelten, die nicht abgeschlossen wird, vielmehr an den Vegetationspunkten fortdauert. Daß aber kein Kriterium für sich ausreicht, um die Unterscheidung einer Pflanze von einem Tier zu ermöglichen, das lehrt uns beispielsweise die ganze Abteilung der Pilze, die des grünen Farbstoffes entbehren und daher in ihrer Ernährung, ebenso wie die Tiere, auf Stoffe angewiesen sind, die von grünen Pflanzen erzeugt werden. — An der Grenze der beiden Reiche, wo

alle Unterschiede sich verwischen, können schließlich nur noch phylogenetische Erwägungen als Richtschnur dienen. Ist der phylogenetische Zusammenhang bestimmter Wesen mit Pflanzen wahrscheinlicher, so werden sie dem Pflanzenreich, im entgegengesetzten Falle dem Tierreich angereiht.

Die lebenden Wesen bilden somit ein einziges zusammenhängendes Reich, das an seinen Ursprungsstellen nur künstlich in Tiere und Pflanzen geschieden werden kann. Dagegen scheint es zunächst eine leichte Aufgabe zu sein, das Reich der lebenden Wesen gegen jenes der leblosen Körper abzugrenzen. In der Tat treten uns alle lebenden Wesen mit einer bestimmten Eigenschaft entgegen, welche den leblosen Körpern fehlt und die wir als Reizbarkeit bezeichnen. Sie äußert sich darin, daß äußere oder innere Anstöße im lebenden Organismus als Auslösungen wirken und ihn zu Tätigkeiten veranlassen, die er mit Mitteln, über die er verfügt oder die er sich zu beschaffen vermag, in einer durch seinen Bau bedingten und seinen Bedürfnissen entsprechenden Weise ausführt. Auch in den kleinsten und einfachsten Organismen, die wir kennen, beruhen die Lebensvorgänge auf derartigen Reizerscheinungen. Daher der Schluß nahe liegt, daß auch in diesen Organismen uns nicht die einfachsten Lebewesen entgegenstehen. Vielmehr müßten diese mit wesentlich einfacheren Eigenschaften ausgestattet sein, die ihren Anschluß an die leblosen Körper gestatten. Denn für die Substanz, die am Ausgangspunkt der organischen Entwicklung stand, ist ein anorganischer Ursprung anzunehmen. Freilich steht für alle lebenden Wesen, die unmittelbar oder mittelbar unseren Sinnen zugänglich sind, jetzt fest, daß sie aus ihresgleichen hervorgehen. Auf allen Gebieten, über die unsere Erfahrung reicht, erscheint die „Generatio spontanea“, d. h. Urzeugung, ausgeschlossen. Im Altertum war die Vorstellung weit verbreitet, daß sogar hochorganisierte Pflanzen und Tiere aus Schlamm und Sand entstehen könnten; diese Anschauung wurde selbst von Aristoteles geteilt. In dem Maße, als sich die Kenntnis von der Entwicklung lebender Wesen erweiterte, wich die Grenze für die Generatio spontanea immer mehr zurück. Die Urzeugung wurde auf die Eingeweidewürmer beschränkt, deren Auftreten im Innern anderer Wesen man sich anders nicht vorzustellen wußte, und auf mikroskopisch kleine Organismen, deren Entstehung sich der Kontrolle entzog. Doch auch für alle diese Wesen hat die fortschreitende Forschung die Generatio spontanea beseitigt. Man lernte die Entwicklungsgeschichte der Eingeweidewürmer kennen, man stellte fest, daß die Keime der kleinsten Organismen in Luft und Wasser verbreitet sind und allen Gegenständen anhaften. Auf letzterem Gebiete haben Schwann und Pasteur bahnbrechend gewirkt; sie zeigten, daß man das Auftreten niederer Organismen an allen Orten, an denen man sie sonst zu beobachten pflegt, durch Zerstörung der vorhandenen Keime und Abschluß gegen neue, verhindern kann. Daß man heute in so ausgedehnter Weise Nahrungsmittel zu konservieren weiß, dankt man nicht zum geringsten jenen auf die Generatio spontanea gerichteten Versuchen. Man zerstört zunächst durch hinreichend hohe Temperaturen die den Nahrungsmitteln beigemengten Keime und sorgt dann durch entsprechenden Abschluß dafür, daß neue Keime nicht hinzutreten. Ohne solche Keime bleibt aber die Zersetzung der aufbewahrten Nahrungsmittel aus, da sie durch die Lebensvorgänge der niederen Organismen bedingt wird.

Alle lebenden Wesen, die wir kennen, gehen somit aus anderen lebenden Wesen hervor; doch findet die Vorstellung, daß die lebendige Substanz aus lebloser abzuleiten sei, eine wichtige Stütze in den Erfahrungen der Chemie. Noch in den ersten Decennien des vorigen Jahrhunderts hat man die Gebiete der anorganischen und organischen Chemie streng voneinander ge-

schieden und man nahm an, daß die in der organischen Chemie behandelten Substanzen nur durch die Lebensvorgänge der Organismen erzeugt werden könnten. Die Gesetze, welche die anorganische Chemie beherrschen, schienen für die Körper der organischen Chemie keine Geltung zu haben, deren Bildung vielmehr von einer besonderen Kraft, der „Lebenskraft", abzuhängen. Da stellte im Jahre 1828 Wöhler aus cyansaurem Ammoniak Harnstoff dar und hatte damit zum ersten Mal eine organische Verbindung aus anorganischer Substanz erzeugt. Im Jahre 1845 erfolgte durch Kolbe die vollständige Synthese der Trichloressigsäure, in den fünfziger Jahren durch Berthelot diejenige der Ameisensäure und des Alkohols. Letzteren hatte Hennel schon 1828 synthetisch gewonnen, doch wies Berthelot erst seine Identität mit dem bei der Gärung entstehenden Weingeist nach. Damit war die Grenze endgültig verwischt, welche die anorganische Chemie von der organischen trennte. Die organische Chemie bildet seitdem, als Chemie der Kohlenstoffverbindungen, nur noch einen Teil der Gesamtchemie.

So mag die lebendige Substanz aus lebloser auf einem gewissen Entwicklungszustande unseres Erdballs entstanden sein, als die Bedingungen zu ihrer Bildung gegeben waren. Damit aus jener lebendigen Substanz die Welt der Organismen sich bildete, mußte aber zu ihren ursprünglichen Eigenschaften schon die Entwicklungsfähigkeit gehören, d. h. die Fähigkeit sich zu verändern und die erfolgte Veränderung als neue Eigenschaft festzuhalten, auch schon die Fähigkeit des Wachstums, d. h. der Vermehrung der Körpermasse auf Kosten fremder Substanzen, endlich auch die Fähigkeit der Fortpflanzung, d. h. einer Vervielfältigung durch Trennung in gesonderte Teile.

Die Botanik oder Wissenschaft von den Pflanzen läßt sich in einen allgemeinen oder generellen und in einen besonderen oder speziellen Teil gliedern. Im allgemeinen Teile werden die Pflanzen gemeinsam auf ihren Bau und ihre Funktion untersucht, im speziellen Teile ihr Bau und ihre Funktionen in den einzelnen Abteilungen des Pflanzenreichs gesondert behandelt.

Die Lehre von dem Bau der Gewächse ist die Morphologie, jene von den Funktionen die Physiologie der Pflanzen. Im allgemeinen Teile sollen Morphologie und Physiologie getrennt als solche, im speziellen vereint in Beziehung zu den verschiedenen Gruppen von Organismen behandelt werden.

ERSTER TEIL.

Allgemeine Botanik.

Erste Abteilung.

Morphologie.

Die botanische Morphologie strebt eine wissenschaftliche Erkenntnis der Pflanzenformen an. Sie erachtet es nicht als ihr eigentliches Ziel, den Ursachen der Formbildung nachzuforschen, hält vielmehr ihre besondere Aufgabe für gelöst, wenn es ihr gelungen ist, eine Form von einer andern abzuleiten. Die einzige reale Grundlage für die Morphologie gibt somit die stammesgeschichtliche Entwicklung, oder Phylogenie (S. 1) ab. Da diese aber nur erschlossen, nicht direkt verfolgt werden kann, so ist die Morphologie auf indirekte Methoden angewiesen. Ihre Grundlage sucht sie einerseits aus der Ontogenie (S. 1) zu gewinnen, d. h. aus dem Studium der Entwicklung, welche die jetzt lebenden Wesen von ihrer Anlage bis zum fertigen Zustand durchmachen, andererseits aus dem Vergleich der jetzt bestehenden organischen Formen untereinander, wie auch mit solchen, die früher lebten. Die Ontogenie wiederholt innerhalb gewisser Grenzen die Phylogenie und kann daher zu ihrer Klarlegung beitragen, während andererseits die vergleichende Forschung danach strebt, extreme Bildungen durch Zwischenglieder zu verbinden. Da nun aber die Ontogenie weder vollständig noch unverändert die Phylogenie wiederholt, auch die verbindenden Glieder zwischen extremen Formen vielfach fehlen, so bleiben die Ergebnisse der morphologischen Forschung oft unvollkommen. Gebilde, deren gemeinsamer Ursprung von einer Ausgangsform uns wahrscheinlich ist, bezeichnen wir als homolog; solche, für die wir einen Ursprung von verschiedenen Ausgangsformen annehmen, die aber die gleichen Funktionen vollziehen, als analog. Die Anpassung an die gleiche Funktion kann unter Umständen analoge Gebilde zu sehr weitgehender Übereinstimmung nicht nur der äußeren Gestalt, sondern auch des inneren Baues führen, wodurch ihre morphologische Deutung erschwert wird. Nur den homologen Gebilden kommt derselbe „morphologische Wert“ zu. Über diesen entscheiden somit nur phylogenetische Gesichtspunkte, nur der gleiche Ursprung, nicht die übereinstimmende Funktion. Wir werden uns somit in der morphologischen Wertbestimmung eines Gebildes durch seine Funktion nicht beeinflussen lassen; doch wollen wir, um die Beziehungen, welche zwischen Form und Funktion herrschen, klarzulegen, unter Umständen auch physiologische Gesichtspunkte in die morphologische Darstellung einschalten. Sind wir auf Grund phylogenetischer Erwägungen dahin gelangt, für eine Anzahl verschiedener Gebilde einen gemeinsamen Ursprung anzunehmen, so bezeichnen wir die hypothetische Ursprungsform, aus der wir jene Gebilde ableiten, als ihre Grundform. Die verschiedenen Abänderungen, welche diese Grund-

form erfahren hat, sind ihre Metamorphosen. Dadurch ist die Lehre von der Metamorphose der Pflanzen, die einst nur eine ideale Abstraktion war, auf reale Grundlage gestellt.

Wenig differenzierte Gebilde, die am Ausgangspunkt einer fortschreitenden Reihe stehen, bezeichnen wir als rudimentär, unvollkommene Gebilde, die sich aus vollkommneren zurückgebildet haben, als reduziert.

Die Morphologie zerfällt in die Lehre von der äußeren Gestalt und von dem inneren Bau. Die Lehre von der äußeren Gestalt der Pflanzen hat man auch Organographie genannt, eine Bezeichnung, die wir nicht annehmen (7), da sie ihrem Wortlaute nach auf die Leistung Rücksicht nimmt und somit einen physiologischen Begriff in sich schließt. Die pflanzliche Morphologie kennt keine Organe, sondern nur Glieder des Pflanzenkörpers; während es andererseits eine der wichtigsten Aufgaben der Physiologie ist, die äußere Gestaltung und den inneren Bau des lebendigen Körpers in Beziehung zu seinen Funktionen zu bringen und den Ursachen der Formgestaltung nachzuforschen. Die Lehre von dem inneren Bau der Gewächse hat man oft in den Begriff der pflanzlichen Anatomie oder Phytotomie zusammengefaßt; tatsächlich hat aber die Lehre von dem inneren Bau der Gewächse vor allem mit jenem feineren Bau des pflanzlichen Körpers zu tun, der auf tierischem Gebiete Gegenstand der Histologie ist, und nur in weit geringerem Maße mit der Anatomie oder gröberen Körperzergliederung. — Am einfachsten dürfte es jedenfalls sein, die Lehre von der äußeren Gestaltung der Pflanzen als äußere Morphologie, die Lehre von der inneren Gestaltung der Pflanzen als innere Morphologie zu bezeichnen.

Erster Abschnitt.

Äußere Morphologie (8).

Die Gestalt und Gliederung der Pflanzen weist große Verschiedenheiten auf. Die Morphologie stellt sich die Aufgabe, das Übereinstimmende innerhalb dieser Mannigfaltigkeit aufzudecken. Sie sucht das zu erreichen, indem sie dem gemeinsamen Ursprung der verschieden ausgebildeten Formen nachforscht.

Die Formentwicklung im Pflanzenreiche.

Der Thallus. Als Thallus wird ein Pflanzenkörper bezeichnet, der entweder ungegliedert ist, oder sich auch gegliedert zeigt, unter Umständen selbst eine ähnliche Gliederung wie die höchst organisierten Pflanzen erlangt, ohne ihnen aber homolog (S. 6) zu sein.

Die einfachste Gestalt, in der wir uns einen Organismus denken können, ist die einer Kugel. Diese Form kommt bei den niederen Pflanzen auch tatsächlich vor. Aus so kleinen grünen Kugeln (Fig. 1 *C*), daß sie nur bei stärkerer Vergrößerung unterschieden werden können, bestehen beispielsweise gewisse grüne Überzüge, die häufig an feuchten Mauern auftreten. Sie werden von einer zu den niedersten Abteilungen der Pflanzen gehörenden Alge, der Gloeocapsa polydermatica, gebildet. — Von ellipsoider Gestalt sind die Individuen der Bierhefe (Saccharomyces cerevisiae). Die Fig. 2 zeigt sie zum Teil mit seitlichen Auswüchsen versehen, in sogen. Sprossung begriffen. —

Scheibenförmige Gestalten, ganzrandig oder mit mannigfaltig eingeschnittenem Rande, treten uns bei verschiedenen Algen entgegen, bei diesen auch cylindrische Formen. Elliptische Gestalt weisen verschiedene Diatomeen

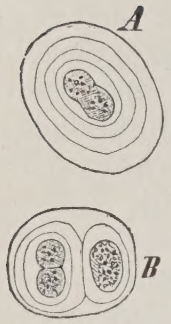


Fig. 1. Gloeocapsa polydermatica. *A* Beginn der Teilung, *B* links, kurz nach der Teilung, *C* im Ruhezustande. Vergr. 540.

Fig. 2. Saccharomyces cerevisiae. *1* nicht sprossende, *2* und *3* sprossende Zellen. Vergr. 540.

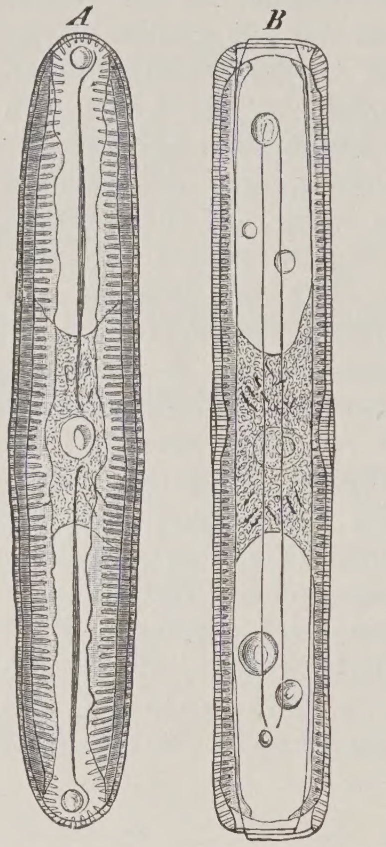


Fig. 3. Pinnularia viridis in zwei Ansichten. *A* die sogen. Schalenansicht, *B* die sogen. Gürtelbandansicht. Vergr. 540.

Fig. 5. Keimling von Ulva Lactuca. Oben der Scheitel, unten die Basis. Vergr. 220.

Fig. 4. Bakterien des Zahnschleims. *a* Leptothrix buccalis, bei *a** nach Jodbehandlung, *b* Mikrokokken, *c* Spirochaete dentium nach Jodbehandlung, *d* Spirillum sputigenum. Vergr. 800.

auf, die auch zu den Algen gezählt werden, so die in Fig. 3 dargestellte Pinnularia viridis. Außerdem kommen dort die mannigfaltigsten spindel-, schiff-, helm- und fächerförmigen Gestalten vor, die sich aus einfacheren kugelförmigen, scheibenförmigen und cylindrischen Formen ableiten lassen. Ebenso treten uns kugel-, stäbchen-, faden- und schraubenförmige Gestalten bei den kleinsten Organismen, die wir zur Zeit kennen, entgegen, den als Träger der Infektionskrankheiten und Erreger von Zersetzungserscheinungen jetzt so viel erforschten Bakterien (Fig. 4). — Als nächsthöhere Stufe fortschreitender Differenzierung kann diejenige gelten, bei welcher ein Gegensatz von Scheitel und Basis sich ausbildet. Die Basis dient dann meist der Anheftung, während das Wachstum sich auf den Scheitel lokalisiert. So bildet sich dieser Scheitel zu einem Vegetationspunkt aus. Ein Keimling der bandförmigen grünen Meeresalge, der Ulva Lactuca (Fig. 5), mag hier als Beispiel solcher Diffe-

renzierung dienen. — Alsdann treten uns bei den niederen Pflanzen verzweigte Fäden und Bänder entgegen. Der Ort der Neubildung lokali-

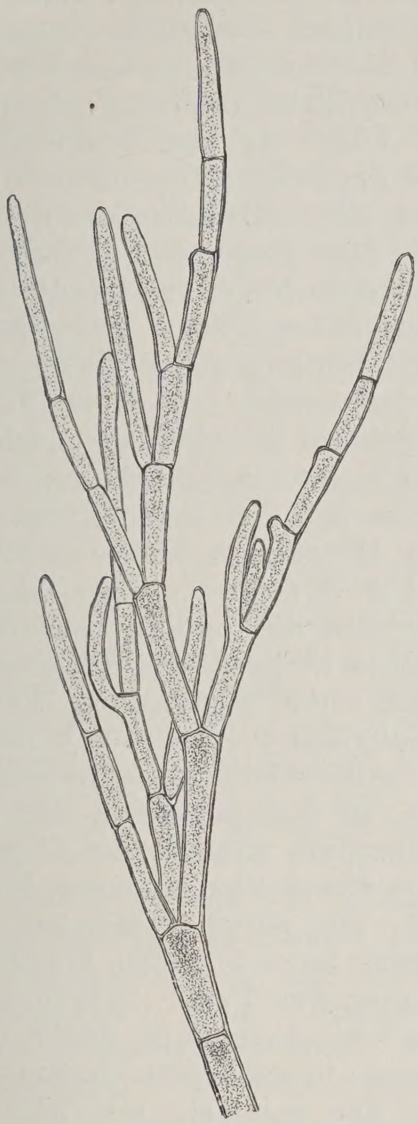


Fig. 6. Stück einer Cladophora glomerata. Vergr. 48.

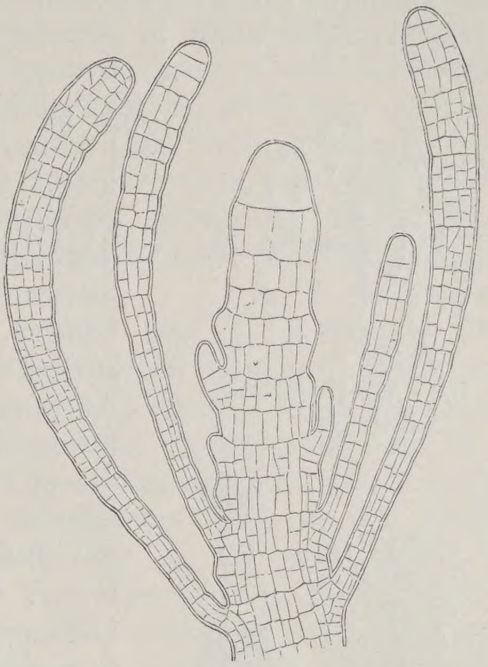


Fig. 7. Endtrieb eines Cladostephus verticillatus (nach PRINGSHEIM). Vergr. 30.

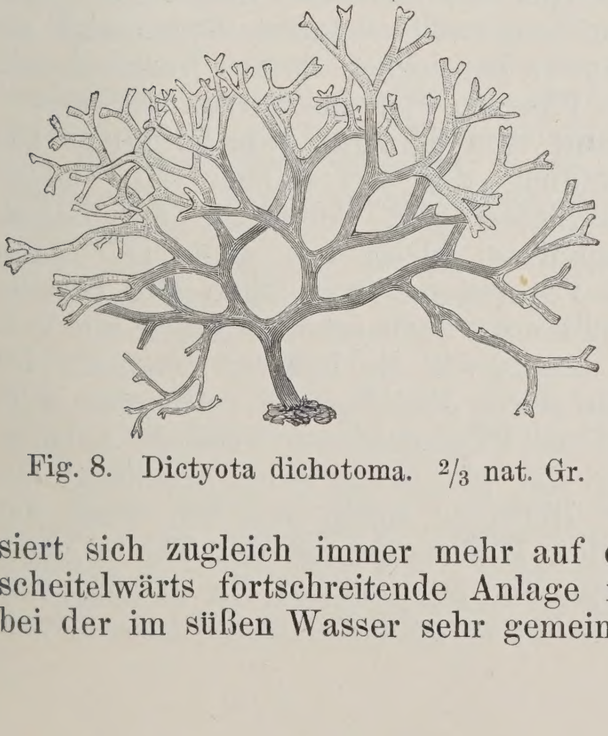


Fig. 8. Dictyota dichotoma. 2/3 nat. Gr.

Fig. 9. Hydrolapathum sanguineum. 1/2 nat. Gr.

siert sich zugleich immer mehr auf den Scheitel. Eine akropetal, d. h. scheitelwärts fortschreitende Anlage neuer Seitenzweige ist bereits deutlich bei der im süßen Wasser sehr gemeinen grünen Fadenlage, der Cladophora

glomerata (Fig. 6) gegeben. Sehr ausgeprägtes Scheitelwachstum zeigt uns die in Fig. 7 dargestellte braune Meeresalge Cladostephus verticillatus. — Die Körper größerer Pilze und Flechten, die uns in Keulen-, Schirm-, Teller- und Becherform, oder auch in strauch- und bartförmigen Gestalten entgegentreten, kommen durch Verflechtung und Vereinigung verzweigter, an ihren Enden wachsender Fäden zu stande. Diese Art der Formbildung bleibt aber auf die genannten Organismen eingeschränkt und sind alle vollkommeneren Arten der Gliederung bei den niederen Pflanzen auf weitere Differenzierung einzelner selbständig bleibender, sich verzweigender Fäden und Bänder zurückzuführen. Die Bildung neuer Glieder des Körpers brauchte dabei nicht in allen Fällen unter dem ursprünglichen Scheitel zu erfolgen, dieser Scheitel selbst konnte in die Bildung neuer Glieder eingehen; so bei der sich fortdauernd gabelnden, braunen Meeresalge Dictyota dichotoma, die unsere Fig. 8 zeigt. — Ihre höchste Differenzierung erreichte die äußere Gestaltung der niederen Gewächse in gewissen Abteilungen der braunen und der roten Meeresalgen (Phaeophyceen und Rodophyceen). Manche Vertreter derselben erinnern in ihrer Gliederung auffallend an höhere Pflanzen, so beispielsweise die rote Meeresalge Hydrolapathum sanguineum (Fig. 9). Wie schon der Name dieser Alge andeutet, ähnelt sie einer Ampferart, ein gewiß lehrreicher Fall für Analogie der Gestalt unter Pflanzen, die phylogenetisch einander ganz fremd sind. Da man bei aller Mannigfaltigkeit der Ausbildung den Körper der als niedere Pflanzen bezeichneten Organismen Thallus nennt, so hat man sie als Thallophyten zusammengefaßt. Dem Thallus der Thallophyten wird der in Stamm und Blatt gegliederte Körper der höheren Pflanzen als Cormus gegenübergestellt, letztere demgemäß als Kormophyten bezeichnet. Zu den Kormophyten zählen alle Pflanzen von den Farnen aufwärts.

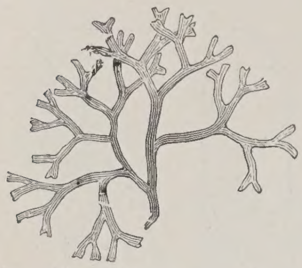


Fig. 10. Riccia fluitans. Nat. Gr.

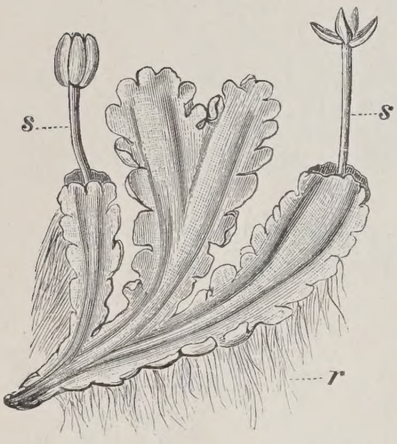


Fig. 11. Blasia pusilla mit Sporogon *s*. *r* Rhizoïde. Vergr. 2.

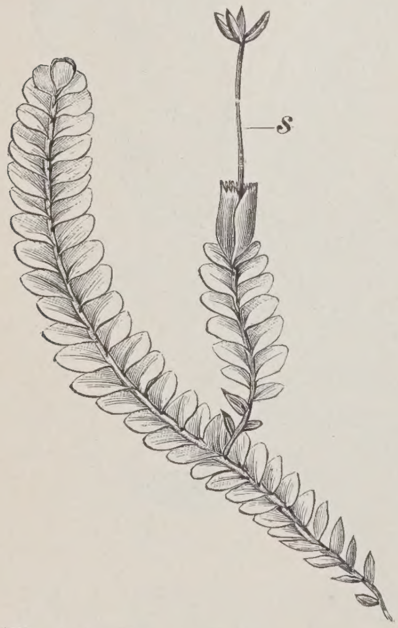


Fig. 12. Plagiochila asplenioides mit Sporogon *s*. Nat. Gr.

Übergang vom Thallus zum Cormus. Die untere Abteilung der Bryophyten oder moosartigen Gewächse, die Abteilung der Lebermoose (Hepaticae) bietet uns zum Teil noch bandartige Vegetationskörper ohne alle Gliederung, enthält aber auch schon Formen mit derselben Gliederung wie die höheren Pflanzen. Da die Extreme durch Mittelformen verbunden sind, so bildet diese Pflanzenklasse wichtige Anhaltspunkte für die phylogenetische Ableitung der kormophyten Pflanzengestalt. Einige Beispiele sollen uns den Gang der bei den Lebermoosen sich vollziehenden Differenzierung des Thallus zum Cormus veranschaulichen. So stellt die Fig. 10 zunächst ein gabelig verzweigtes Lebermoos mit bandartigem Thallus vor, die Riccia fluitans. Dieses

Lebermoos erinnert in seinem Habitus, d. h. in seinem Aussehen, an die von uns betrachtete braune Alge Dictyota dichotoma (Fig. 8). Das nächste Lebermoos, welches wir anschließen, die Blasia pusilla (Fig. 11), zeigt an seinem bandförmigen Körper seitliche Einschnitte. Die mit diesen Einschnitten abwechselnden Lappen sind, wie der Vergleich mit anderen differenzierten Lebermoosen und die Entwicklungsgeschichte lehren, als Blätter aufzufassen, deren Sonderung noch unvollkommen ist. Endlich tritt uns in Plagiochila asplenioides (Fig. 12) ein Lebermoos entgegen, bei dem die volle Gliederung in Stamm und Blatt vollzogen ist. Die rundlich eiförmigen Blätter sind von den fadenförmig gestreckten Stammteilen abgegliedert, sie sitzen ihnen abwechselnd rechts und links an.

Cormus. Mit der Differenzierung in Stamm und Blatt war die kormophyte Differenzierung gegeben. Sie hat sich allem Anschein nach wiederholt in der phylogenetischen Entwicklung des Pflanzenreichs vollzogen, so in der Abteilung der moosartigen Gewächse oder Bryophyten, und in jener der farnartigen Gewächse oder Pteridophyten, vielleicht in beiden Abteilungen aus lebermoosähnlichen Vorfahren. Alle Bryophyten sind an der Unterlage, auf der sie wachsen, durch zarte Fäden, die als Rhizoïde (Fig. 11 *r*) bezeichnet werden, befestigt. Erst bei den Farnpflanzen (Pteridophyten), die auch als Gefäßkryptogamen zusammengefaßt werden, traten echte Wurzeln im morphologischen Sinne, ein neues Glied dem kormophyten Pflanzenkörper hinzufügend, auf. Diese Wurzeln stellen im allgemeinen cylindrische, an ihrem Scheitel fortwachsende Gebilde dar, die abgesehen von einem bestimmten inneren Bau, sich in ihrer äußeren Ausgestaltung von dem Stamm dadurch unterscheiden, daß ihr Vegetationskegel mit einer Hülle, der sogen. Wurzelhaube oder Kalyptra, bedeckt ist und keine Blätter bildet.

Metamorphose der Grundformen der Kormophyten. Nach vollzogener Differenzierung in Stamm und Blatt und dem Auftreten von Wurzeln, fand weiterhin nur noch eine mehr oder weniger tiefgreifende Veränderung jener Grundformen, oder Grundglieder des kormophyten Pflanzenkörpers, d. h. deren Metamorphose (S. 6), unter Umständen auch deren mehr oder weniger weitgehende Verschmelzung, statt.

Die oft ganz auffälligen Beziehungen homologer Glieder konnten auch früher nicht unbemerkt bleiben. Sie regten zu Vergleichen an, bevor noch in der Phylogenie eine reale Basis für solche Vergleiche gewonnen war. So bildete sich einerseits eine rein idealistische Gestaltenlehre in der Botanik aus, die ihre höchste künstlerische Entwicklung in GOETHES Metamorphosenlehre, ihren wissenschaftlichen Abschluß in den Arbeiten von ALEXANDER BRAUN fand. — Die Mannigfaltigkeit der Gestaltung auf den Gebieten der niederen Gewächse gestattete bei ihnen die Aufstellung abstrakter Grundformen nicht, weshalb sich die ganze äußere Morphologie der Pflanzen aus Begriffen aufbaute, welche von den Kormophyten gewonnen waren. Auch heute geben die für die Körperteile der Kormophyten üblichen Bezeichnungen die Norm ab, nach welcher die nur analogen Teile der Thallophyten benannt werden. So unterscheidet man auch wohl zwischen Stamm und Blatt bei solchen Algen, wie dem in Fig. 9 dargestellten Hydrolapathum. Solche Bezeichnungen können dort auch treffend die Art der Gliederung charakterisieren, doch muß festgehalten werden, daß bei der gleichen Bezeichnung es sich nur um Hervorhebung einer Analogie der Gliederung mit den Kormophyten handelt. Freilich sind auch diejenigen Gebilde, die wir mit gleichen Namen bei Kormophyten belegen, nicht wirklich alle homolog. Denn es ist nicht möglich, die kormophyte Gliederung bei den Pteridophyten von derjenigen bei den Bryophyten abzuleiten, vielmehr muß für beide, wie schon berührt wurde, ein verschiedener Ursprung angenommen werden. Nach GOEBEL (9) hat sich auch in verschiedenen Reihen der Bryophyten die Blattbildung mehrfach vollzogen. Von den Pteridophyten aufwärts scheint hingegen die vorhandene Gliederung in der Tat von gleichem Ursprung zu sein und die gleichnamige Bezeichnung sich dort auf wirklich homologe Gebilde zu beziehen.

Symmetrieverhältnisse.

Jeder in der Richtung vom Scheitel zur Basis eines Pflanzenteils geführte Schnitt ist ein Längsschnitt; die rechtwinklig zu den Längsschnitten geführten Schnitte sind Querschnitte. Ein Pflanzenteil, der sich durch drei oder mehr durch seine Achse geführte Längsschnitte, die dann Hauptschnitte heißen, in je zwei Hälften teilen läßt, die einander annähernd gleich sind, wird als multilateral oder radiär, oder auch aktinomorph bezeichnet. An einem beblätterten Sproß wird uns der radiäre Bau am anschaulichsten

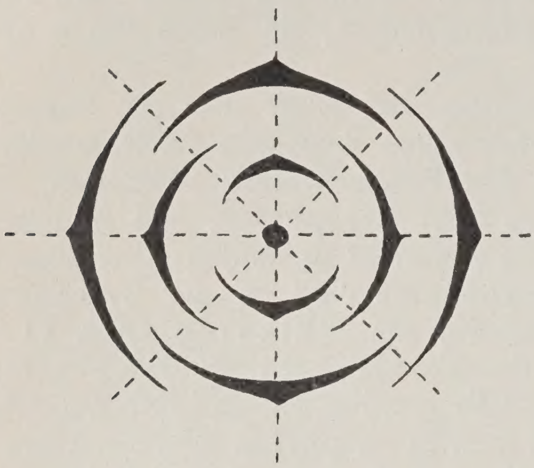


Fig. 13. Diagramm der sogen. dekussierten Blattstellung.

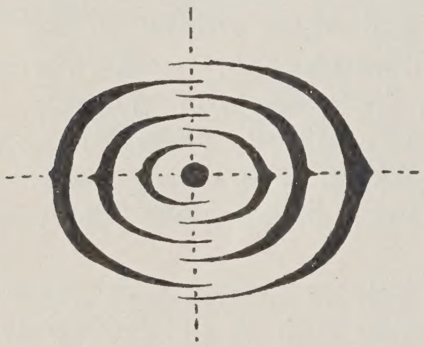


Fig. 14. Diagramm einer zweizeiligen Blattstellung.

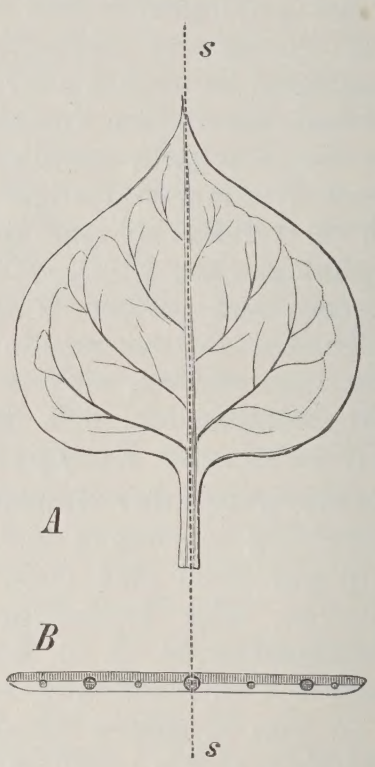


Fig. 15. Schematisches Bild eines Laubblattes, bei *A* in Flächenansicht, bei *B* im Querschnitt, *ss* der Hauptschnitt.

entgegentreten, wenn wir von ihm ein sogen. Diagramm darstellen, d. h. wenn wir die Blätter, die er trägt, in eine zu seiner Längsachse rechtwinklige Ebene entwerfen. So zeigt sich deutlich die radiäre Ausbildung an dem Diagramm Figur 13, das nach einem Sproß entworfen ist, der die Blätter in abwechselnd aufeinander folgenden, zweigliederigen Quirlen trägt. Etwas abweichend verhält sich ein Sproß, der seine Blätter zweizeilig, d. h. abwechselnd an zwei gegenüberliegenden Seiten ausbildet. Das Diagramm eines solchen Sprosses (Fig. 14) kann nur durch zwei Hauptschnitte in annähernd gleiche Hälften zerlegt werden. Ein solcher Typus wird als bilateral, oder bisymmetrisch von dem radiären unterschieden. Eine noch andere Symmetrie weisen solche Pflanzenkörper auf, die nur durch einen einzigen Hauptschnitt in zwei einander entsprechende Hälften, eine rechte und linke, zerlegt werden können; solche Körper heißen einfach symmetrisch, monosymmetrisch oder auch zygomorph; sie lassen nur eine Symmetrieebene zu, weil sie zwar einander entsprechende Flanken,

aber eine verschiedene „Rücken-“ und „Bauchseite“ besitzen. Aus letzterem Grunde werden sie als dorsiventral bezeichnet. Solche dorsiventrale Gebilde treten uns in den meisten Laubblättern entgegen. Schematisch wird uns ein solcher monosymmetrischer, dorsiventraler Pflanzenkörper durch die Figur 15 an einem Laubblatt verdeutlicht, wobei *A* die Flächenansicht, *B* den Querschnitt darstellen soll, *s s* den einzig möglichen Hauptschnitt. Die Unterschiede im Bau der Rücken- und Bauchseite sind am Querschnitt durch Schattierung hervorgehoben. Nicht selten sind dorsiventrale Pflanzenteile auch asymmetrisch, ihre beiden Flanken entsprechen dann einander nicht, so bei den meisten Begonienblättern.

Verzweigungssysteme.

Die Thallophyten wie die Kormophyten weisen sowohl solche Verzweigungen auf, die aus einer Gabelung zuvor vorhandener Vegetationspunkte hervorgehen, als auch solche, die einer Bildung neuer Vegetationspunkte ihre Entstehung verdanken. Im ersten Falle geht der alte Vegetationspunkt in der Bildung der neuen auf, im zweiten besteht er als solcher fort. Aus diesen beiden Verzweigungsarten ergeben sich die beiden herrschenden Verzweigungssysteme, das dichotomische und das monopodiale. Bei typischer Ausbildung des dichotomischen Systems mit gleichmäßiger Fortentwicklung der Gabelzweige, kommt ein Gesamtbild zu stande, wie es etwa in unserer Fig. 8 (S. 9) Dictyota dichotoma aufweist, das sich schematisch durch die Fig. 16 *A a* ausdrücken läßt. Bei der typischen Ausbildung des monopodialen Systems geht eine Hauptachse, das Monopodium, durch die ganze Verzweigung und trägt schwächere Äste, die ihrerseits mit noch schwächeren Zweigen besetzt sein können. Eine Tanne mag als typisches Beispiel dienen. Das dichotomische System nimmt ein von dem typischen stark abweichendes Aussehen an, wenn bei den aufeinander folgenden Gabelungen stets nur ein Ast gefördert wird. Die geförderten Gabeläste können zusammen eine scheinbare Hauptachse bilden, der die schwächeren Gabeläste wie Seitenäste entspringen. So ist es im Schema *Ab*, und bei den Selaginellen der Fall. Eine solche Scheinachse (*sss*) wird ihrem

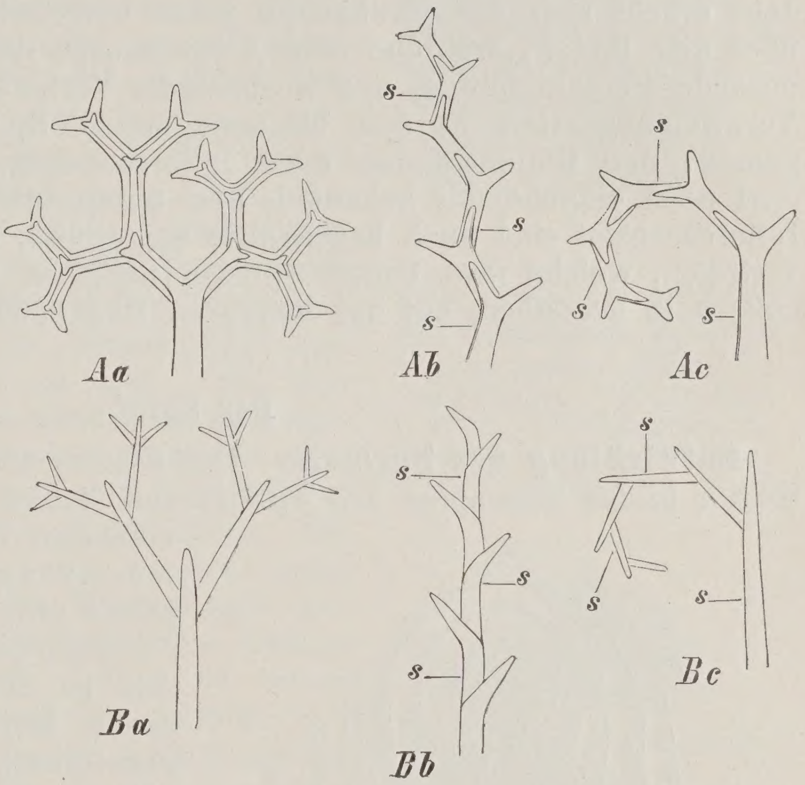


Fig. 16. Schematische Darstellung einiger Verzweigungssysteme. *A* Dichotomische Verzweigung und zwar *A a* gabelige Dichotomie, *A b* wickelähnliche Dichotomie, *Ac* schraubelähnliche Dichotomie. *B* Monopodiale Verzweigung und zwar *Ba* falsche Dichotomie, *Bb* Wickel, *Bc* Schraubel. *ss* Sympodien.

Ursprung gemäß als Sympodium bezeichnet. Andererseits können bei monopodialer Verzweigung zwei Seitenäste sich stärker als die Hauptachse ausbilden und dadurch der Schein einer Dichotomie, oder bei der Förderung von mehr als zwei Ästen, einer Polytomie entstehen. Man spricht dann von falscher Dichotomie oder Polytomie. Ein schönes Beispiel für falsche Dichotomie gibt die auf unseren Bäumen wachsende Mistel (Viscum album) ab; wir sehen es auch durch das Schema *Ba* vorgeführt. — Wird nur ein Seitenast an der Hauptachse gefördert, während diese zurückbleibt (*Bb*), und stellt er sich in die Verlängerung derselben, indem er ihren Scheitel zur Seite drängt, so entsteht ebenfalls ein Sympodium (*s s*). Stämme und Äste mancher unserer Laubhölzer sind solche Sympodien, so bei der Linde oder der Rotbuche. Die Endknospen der Jahrestriebe sterben da ab, die oberste, kräftig entwickelte Seitenknospe setzt im Frühjahr den vorjährigen Sproß fort, und bald ist an der so erzeugten Scheinachse von ihrem sympodialen Ursprung nichts mehr zu erkennen. Dauernd erkennbar bleibt hingegen der sympodiale Aufbau vielfach an unterirdischen Stammteilen, so denjenigen von Polygonatum multiflorum, Fig. 23 (S. 19). Jedes Jahr erhebt sich die Endknospe jenes unterirdischen Stammes als Sproß über den Boden, während eine Achselknospe ihn im Boden fortsetzt. — In besonders mannigfaltiger und wechselnder Verbindung sind die verschiedenen Verzweigungsarten in den blütentragenden Sproßsystemen der Phanerogamen, den Blütenständen oder Inflorescenzen, ausgebildet und werden dort noch eingehender behandelt und unterschieden werden. Unter diesen Inflorescenzen sind auch bauchwärts eingerollte, dorsiventrale Sproßsysteme vertreten, welche ihre neuen Sprosse nicht in den Blattachseln, sondern außerhalb derselben, auf der konvexen Rückenfläche ausbilden.

Der Sproß.

Entwicklung des Sprosses. Der Stamm und die an ihm befindlichen Blätter bilden zusammen den Sproß und stehen in engster Beziehung zueinander. Der Stamm zeigt Scheitelwachstum (Fig. 17), sein Vegetationspunkt gilt, weil er von einer besonderen Hülle nicht bedeckt wird, im Gegensatz zu demjenigen der Wurzel, als nackt. Meist springt der Sproßscheitel kegelförmig vor und wird daher allgemein als Vegetationskegel bezeichnet. Er ist für gewöhnlich klein, dem bloßen Auge kaum sichtbar, daher müssen mediane Längsschnitte aus dem Sproßscheitel hergestellt und bei entsprechend starker Vergrößerung betrachtet werden. Soweit der Sproßscheitel noch ungesondert in seinem Innern ist, befindet er sich im embryonalen Zustande. Solchen noch embryonalen Teilen des Vegetationskegels entspringen die Blattanlagen. Sie zeigen sich als Höcker oder Wülste (*f*) und entstehen in akropetaler Reihenfolge, haben daher eine um so bedeutendere Größe aufzuweisen, je weiter sie von der Spitze ent-

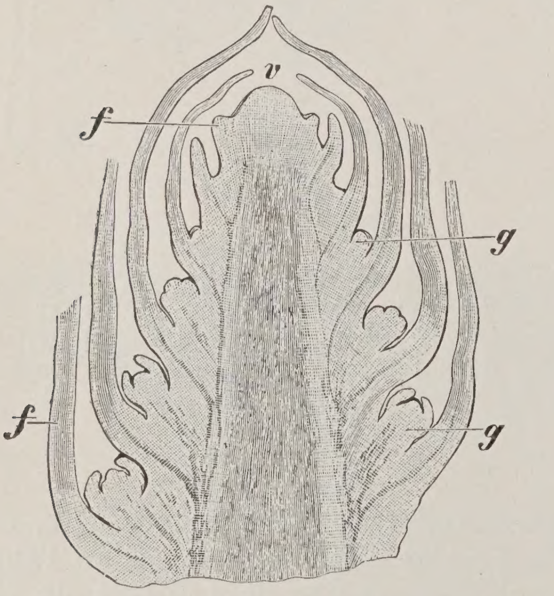


Fig. 17. Sproßscheitel einer phanerogamen Pflanze. Bei *v* Vegetationskegel, *f* Blattanlagen, *g* Achselknospenanlagen. Vergr. 10.

fernt sind. Da das Wachstum des Blattes im allgemeinen der Streckung der Stammteile vorauseilt, die jungen Blattanlagen sich gegenseitig decken und über dem Vegetationskegel zusammenneigen, so bilden sie eine Knospe. Die Knospe ist somit ein unentwickelter Sproß. Soll sie, wie das beispielsweise bei manchen Winterknospen der Fall ist, eine Zeitlang ruhen, so wird sie in besonderer Weise für die Ruhezeit abgeschlossen.

Anlage neuer Sprosse. Die Bildung neuer Vegetationspunkte durch Gabelung eines älteren Vegetationspunktes, der wir bei der thallophyten Dictyota dichotoma (Fig. 8) schon begegnet sind, tritt uns auch bei den niederen thallophyten Lebermoosen, so bei der in Fig. 10 dargestellten Riccia fluitans entgegen. Bei den Kormophyten zeigt sie sich im wesentlichen auf die Farnpflanzen (Pteridophyten) beschränkt und zwar in typischer Ausbildung auf einige Vertreter der Bärlappgewächse (Lycopodiaceen). Soll bei solchen Bärlappgewächsen ein Sproß in zwei gleichwertige Sprosse sich gabeln, so wird der kreisförmige Querschnitt seines Vegetationskegels elliptisch und den beiden Brennpunkten der Ellipse entsprechend wölben sich die zwei neuen Vegetationskegel vor (Fig. 18). Bei den meisten Bärlappgewächsen werden bei der Gabelung zwei ungleich starke Sprosse erzeugt und dann erscheint der schwächere sogleich seitlich gegen den stärkeren verschoben (Fig. 19). Jede Verzweigung, die in solcher Art durch Spaltung des Vegetationskegels zu stande kommt, bleibt ohne bestimmte Beziehung zu den Blattanlagen. Sonst pflegt eine solche Beziehung vorhanden zu sein. Bei den Moospflanzen (Bryophyten) höchster Entwicklungsstufe, vor allem den Laubmoosen, entstehen neue Sprosse in einiger Entfernung vom Vegetationspunkte schräg unter bestimmten Blattanlagen. Bei den Phanerogamen werden neue Sprosse ganz allgemein in den Achseln der Blattanlagen gebildet. An dem in Fig. 17 dargestellten Längsschnitt sieht man die jüngste Anlage zu einem neuen Sproß (g) in der Achsel der drittobersten Blattanlage sich vorwölben. In den Achseln nächst älterer Blattanlagen sind auch die Sproßanlagen entsprechend größer und beginnen Blatthöcker vorzuwölben. Solche in Blattachseln erzeugte Knospen werden als Achselknospen, die aus ihnen hervorgehenden Sprosse als Achselsprosse bezeichnet.

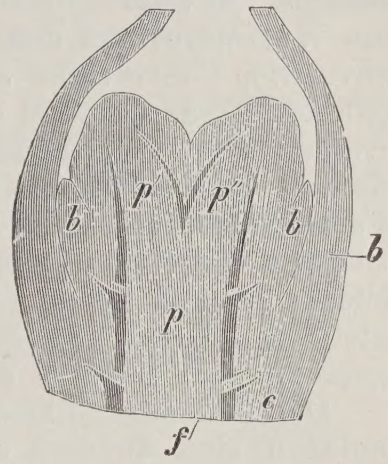


Fig. 18. Ein in zwei gleichstarke Gabeläste (p' und p'') sich fortsetzender Sproß (p) von Lycopodium alpinum, im Längsschnitt. b Blattanlage, c Rinde, f Gefäßtracheïden-Stränge. (Nach HEGELMAIER.) Vergr. 60.

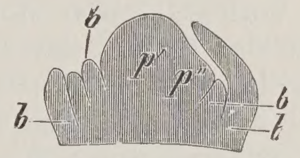


Fig. 19. Ein in zwei ungleiche Gabeläste (p' und p'') sich teilender Sproß von Lycopodium inundatum, b Blattanlagen. (Nach HEGELMAIER). Vergr. 40.

Das Blatt, in deren Achsel sie stehen, ist ihr Tragblatt oder Stützblatt, besser ihr Deckblatt. Im allgemeinen steht die Achselknospe in der Mittellinie ihres Deckblattes, nur selten wird sie seitlich aus ihr verschoben. Regel ist, daß nur eine Achselknospe in der Achsel ihres Deckblattes auftritt, doch gibt es auch Fälle, wo auf die erste Achselknospe die Bildung anderer, der sogen. Beiknospen folgt. Entweder stehen diese übereinander (seriale Beiknospen), so z. B. bei Lonicera, Gleditschia, Gymnocladus, oder nebeneinander (kollaterale Beiknospen), z. B. bei manchen Liliaceen, wie Allium- und Muscari-Arten.

Daß neue Sproßanlagen in wesentlich größerer, oft bedeutend größerer

Entfernung vom Vegetationspunkt als die Blattanlagen auftreten, ist in den vegetativen, d. h. nur Vegetationsorgane bildenden Teilen phanerogamer Pflanzen eine allgemeine Erscheinung; in den generativen, d. h. blütenbildenden Teilen solcher Pflanzen, pflegt hingegen die Anlage der Sprosse meist unmittelbar jener der Blätter zu folgen, ihr selbst vorauszueilen. Im letzten Falle wird das Deckblatt meist nur schwach entwickelt, ja es kann, wie in den Blütenständen der Cruciferen, ganz fehlen.

Sproßanlagen, die an vorbestimmten Stellen noch jugendlicher Pflanzenteile entstehen, werden als normale bezeichnet und solchen gegenübergestellt, welche beliebigen Stellen, sowohl jüngerer als auch älterer Pflanzenteile entspringen. Letztere pflegt man als adventive Bildungen zusammenzufassen. Adventivsprosse sind häufig an alten Stämmen, brechen oft auch als Wurzelbrut aus den Wurzeln von Kräutern (Brassica oleracea, Anemone silvestris, Convolvulus arvensis, Rumex Acetosella), oder von Sträuchern (Rubus, Rosa, Corylus) oder von Bäumen (Populus, Ulmus, Robinia) hervor, werden selbst an den Blättern mancher Pflanzen, so des Schaumkrautes (Cardamine pratensis), der Brunnenkresse (Nasturtium officinale), verschiedener Farnkräuter, erzeugt. Eine Verwundung des Pflanzenkörpers regt oft die Bildung von Adventivknospen an. So treten Adventivknospen häufig als Stockausschlag an dem Stocke gefällter Bäume auf; auch verwerten Gärtner vielfach Adventivknospen, die an Stammstücken, Wurzelstücken oder abgeschnittenen Blättern entstehen, um neue Pflanzen zu erzielen.

Die den jugendlichen Teilen der Mutterpflanze entspringenden Sproßanlagen sind äußeren oder exogenen Ursprungs. Im Gegensatz hierzu können Adventivsprosse auch inneren oder endogenen Ursprung haben, und müssen dann die äußeren Gewebe der Mutterpflanze durchbrechen, um nach außen zu gelangen. An Stamm- und Wurzelteilen auftretende Adventivsprosse sind vornehmlich endogenen, die an Blättern erzeugten exogenen Ursprungs.

Bei Bryophyllum-Arten, Crassulaceen mit fleischigen Blättern, werden in den Kerben des Blattrandes noch in der Entwicklung begriffener Blätter Sproßanlagen erzeugt. Da die aus diesen Anlagen hervorgehenden Knospen an vorbestimmten Stellen des Pflanzenkörpers entstehen, einem jugendlichen Gewebe ihre Entstehung verdanken und tatsächlich in den normalen Entwicklungsgang der Pflanze gehören, so müßten sie eigentlich auch als „normale“ Knospen gelten, trotzdem sie auf Blättern entstehen. Adventiv dürften im strengen Sinne des Wortes nur solche Knospen heißen, die aus älteren, beliebigen Stellen des Pflanzenkörpers, die in erneute Tätigkeit eintreten, erzeugt werden, so etwa die Knospen, die an der Basis abgetrennter Begonienblätter entstehen, die der Gärtner auf feuchten Boden legt. Doch der Begriff der „normalen Knospen“ wird dessenungeachtet meist enger gefaßt und auf die an den Sproßachsen, im normalen Gang der Entwicklung entstehenden Knospen beschränkt. Es fehlt aber auch da nicht an Beispielen, welche unter Umständen die scharfe Abgrenzung der normalen von der adventiven Sproßbildung erschweren ([9a]).

Während im allgemeinen neue Blattanlagen unter dem fortwachsenden Stammscheitel angelegt werden, kommen, besonders in der Blütenregion, Ausnahmen vor, in welchen eine Blätteranlage terminal angelegt wird und den Vegetationskegel des Stammes zu ihrer Bildung aufbraucht. So entstehen manche als terminal bezeichnete Staubblätter und Fruchtblätter der Phanerogamen.

An Sproßachsen mit begrenztem Wachstum, so an manchen Blütenständen der Phanerogamen (Vallisneria), schreitet in bestimmten Fällen die

Anlage neuer seitlicher Glieder in umgekehrter Richtung, also vom Scheitel gegen die Basis fort; auch kann in der Blütenregion dieser Pflanzen die Einschaltung neuer seitlicher Glieder zwischen schon vorhandenen zum normalen Entwicklungsgang gehören(9b).

Von der Anlage normaler Sprosse sahen wir, daß sie aus der embryonalen Substanz des Vegetationspunktes ihres Muttersprosses hervorgehen. Entstehen sie in größerer Entfernung vom Sproßscheitel (Fig. 17), so läßt sich meist nachweisen, daß dort embryonale Substanz für ihre Bildung aufgespart blieb. Auch die Vegetationspunkte der Adventivsprosse werden meist aus embryonaler Substanz erzeugt, die in älteren Teilen des Pflanzenkörpers als solche bestehen blieb und vermehrt wurde; sie können aber auch aus älteren Geweben hervorgehen, dank deren Fähigkeit in den embryonalen Zustand zurückzukehren und neue Vegetationspunkte zu erzeugen.

Weitere Ausbildung der Sprosse. Auf die Entwicklungsvorgänge, durch welche am Scheitel der Sprosse neue Glieder angelegt werden, folgt deren Größenzunahme und weitere Ausbildung. Dieses Wachstum pflegt mit einer ausgiebigen Streckung der angelegten Teile zu beginnen, die eine rasche Entfaltung der Knospen veranlaßt. Es wird als Längenwachstum bezeichnet. Die Stelle stärksten Längenwachstums liegt in einiger Entfernung vom Vegetationspunkte. Dies kann in bestimmten Fällen so gering sein, daß die Blätter des Sprosses auch im fertigen Zustande aneinanderstossen, ohne freie Stammteile zwischen sich zu lassen; dann liegen Kurztriebe vor. Die dichtgedrängten Büschel nadelförmiger Blätter bei den Lärchen, oder die aus fleischigen Blättern gebildeten Rosetten der Hauswurz-(Sempervivum-)Arten, so auch die Blüten der Phanerogamen mit ihren dicht gedrängten Blattgebilden, können als Beispiele dienen. Strecken sich, wie das meist zu geschehen pflegt, die Stammteile zwischen den Ansatzstellen der Blätter, so erhalten wir Langtriebe. Solche Langtriebe werden beispielsweise von allen unseren Laubhölzern im Frühjahr gebildet.

Fig. 20. Samolus Valerandi, die Tragblätter *t* an den Achselsprossen *a* emporgerückt. Fruktifizierende Pflanze. Jeder Achselsproß schließt mit einer Frucht ab. Natürl. Gr.

Den Stamm stellt man den Blättern als Sproßachse oder kurzweg Achse gegenüber. Die zwischen den Ansatzstellen der Blätter befindlichen Achsenstücke bezeichnet man als Stammglieder, oder als Stengelglieder, Internodien; die Achsenstücke, welche die Blätter tragen, nennt man Knoten, Nodi. Wenn die Blätter mit ihrer Basis den Stengel umfassen, oder wenn sie zu mehreren in gleicher Höhe entspringen, pflegt der Knoten, der sie trägt, angeschwollen zu sein: so bei vielen Lippenblütlern (Labiaten).

Bei manchen Pflanzen hält das Längenwachstum des Sprosses an älteren Stellen längere Zeit an. Ein solches Wachstum bezeichnet man als interkalar. Meist ist es auf die Basis der Internodien eingeschränkt: so bei den Gräsern. — Interkalare Wachstumsvorgänge können Verschiebungen bewirken, durch welche die ursprünglichen Beziehungen der Glieder eine Änderung erfahren. So gibt es Fälle, in welchen die Knospen den Achseln ihrer Deckblätter entrückt werden, die einzelne Knospe daher höher am Stengel als ihr Deckblatt zu stehen kommt. Es kann auch das Deckblatt bei seinem Wachstum die Achselknospe mitnehmen, so daß der Achsel-

sproß auf das Deckblatt hinaufgelangt, oder es rückt das Deckblatt, wie in Fig. 20, auf seinen Achselsproß hinauf und scheint ihm selbst anzugehören.

Ruhende Knospen. Zur Überwinterung in unseren Breiten bestimmte Knospen (Fig. 21) werden fast stets von schuppenförmigen Blättern umschlossen, die man Knospenschuppen nennt, und die, vermöge ihres Baues, vornehmlich Schutz gegen Verdunstung und somit auch zugleich gegen Austrocknung gewähren. Unterstützt werden sie dabei durch Haarüberzüge, Harz- und Gummiausscheidungen, sowie durch eingeschlossene Luftschichten. Nicht selten ist das Deckblatt an diesem Schutz seiner Achselknospe beteiligt, indem der Grund des Blattstieles auch nach dem Blattfall am Sproß verbleibt und kappenförmig, mehr oder weniger vollständig, die Winterknospe deckt. Ähnlich wie Winterknospen werden auch Knospen tropischer Holzgewächse abgeschlossen, die eine Trockenperiode überdauern sollen, während in tropischen Gegenden mit gleichmäßig über das Jahr verteilten Niederschlägen ein solcher Knospenabschluß nicht besteht.

Fig. 21. Winterknospen der Rotbuche (Fagus silvatica). *kns* Knospenschuppen. Natürl. Gr.

Andererseits gibt es auch zahlreiche Laubhölzer, so z. B. die Weiden, bei welchen die Endknospen der Triebe regelmäßig absterben. Fast jeder Baum besitzt, namentlich im unteren Teile seiner Jahrestriebe, tausende von „schlummernden“ oder „schlafenden“ Knospen oder „Augen“, die kürzere oder längere Zeit entwicklungsfähig bleiben und zur Entfaltung überhaupt nur gelangen, wenn sich der Bedarf dazu einstellt. Bei der Eiche, Rotbuche können schlummernde Knospen wohl ein Alter von hundert Jahren erreichen; ihre Ansatzstelle im Stamm wird verlängert, so daß sie in der Peripherie verbleiben. Vielfach sind es somit Sprosse aus solchen Knospen und nicht Adventivsprosse, welche aus alten Stämmen hervorbrechen. Es kommt vor, daß die Verbindung der schlummernden Augen mit dem Holzkörper des Mutterstammes unterbrochen wird, daß sie aber fortfahren in die Dicke zu wachsen und sich mit eigenen Holzschichten zu umgeben; dann bilden sie jene merkwürdigen „Kugeltriebe“ innerhalb der Rinde, die hühnereigroß werden können und sich leicht von der umgebenden Rinde loslösen: so häufig die Kugeltriebe bei der Rotbuche, und die sogen. Eier beim Ölbaum. Nicht alle Knospen einer Pflanze treiben aus.

Fig. 22. Zwiebeltragende Zahnwurz (Dentaria bulbifera) mit Brutknospen *br*. Natürl. Gr.

Metamorphose der Knospen. Eine besondere Veränderung erfahren die Knospen, wenn sie als Brutknospen oder Bulbillen ausgebildet werden. Infolge ihrer starken Anfüllung mit Nährstoffen erhalten sie meist die Gestalt kleiner Knöllchen. Sie fallen von ihrer Mutterpflanze ab und tragen so zur Verbreitung der Art bei. Die mit Bulbillen versehenen Pflanzen führen oft danach ihren Namen: so Lilium bulbiferum, oder Dentaria bulbifera (Fig. 22).

Metamorphose unterirdischer Sprosse. Charakteristisch verändert sind solche Sprosse, die unterirdisch leben. Sie werden als Wurzelstöcke oder Rhizome bezeichnet. Mit Hilfe solcher Rhizome überwintern viele

unserer ausdauernden, krautartigen Gewächse, die sogen. Stauden, im Boden. Im Boden verbleibende Blätter der Rhizome sind, ihrem Aufenthaltsorte gemäß, zu größeren oder kleineren, unter Umständen kaum sichtbaren Schuppen reduziert. An solchen Schuppen oder ihren Narben, dem

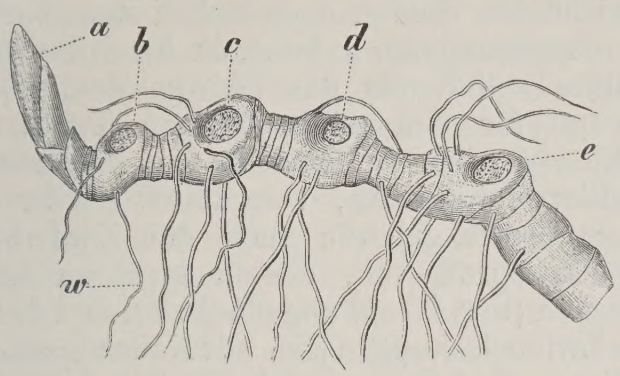


Fig. 23. Rhizom von Polygonatum multiflorum. *a* Knospe für den nächstjährigen oberirdischen Trieb, *b* Narbe des diesjährigen, *c* und *d* Narben des vorjährigen und vorvorjährigen Triebes, *w* Wurzeln. Auf $^3/_4$ verkleinert.

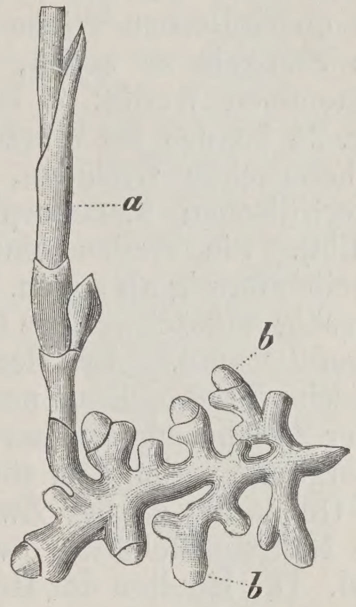


Fig. 24. Rhizom von Coralliorrhiza innata. Bei *a* Blütenschaft, bei *b* Anlagen neuer Rhizomzweige. (Nach SCHACHT.) Nat. Gr.

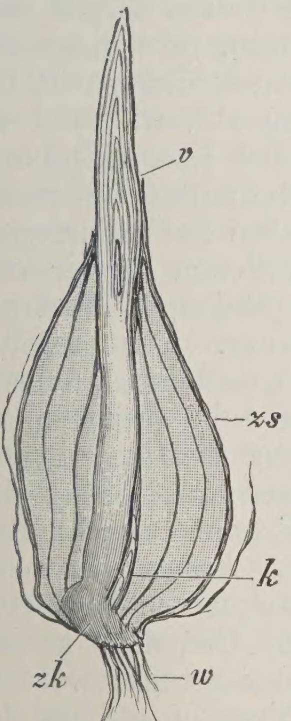


Fig. 25. Zwiebel der Tulpe (Tulipa Gesneriana) im Längsschnitt. *zk* Zwiebelkuchen, *zs* Zwiebelschuppen, *v* Terminalknospe, *k* Anlage einer jungen Zwiebel, *w* Wurzel. Nat. Gr.

Fig. 26. Unterer Teil einer Kartoffelpflanze (Solanum tuberosum). Die mittlere dunklere Knolle ist die in die Erde gesteckte Mutterknolle, aus der sich die Pflanze entwickelt hat. $^1/_3$ nat. Gr. Nach der Natur mit Benutzung eines BAILLONschen Bildes.

Vorhandensein regelmäßig verteilter Knospen, dem Fehlen einer Wurzelhaube, endlich an ihrem inneren Bau, sind die Rhizome von Wurzeln zu unterscheiden. Meist pflegen aus den Rhizomen zahlreiche Wurzeln zu entspringen, in seltenen Fällen können letztere aber auch fehlen und das Rhizom

selbst die Funktion der Wurzeln übernehmen. Die Rhizome zeigen oft nicht unbeträchtliche Dicke, um die Nahrungsstoffe aufnehmen zu können, die das Material für die Bildung oberirdischer Triebe abgeben sollen. So stellt Fig. 23 den Wurzelstock von Polygonatum multiflorum, Salomonssiegel genannt, dar. Die mit *d* und *c* bezeichneten Stellen entsprechen den Narben der oberirdischen Triebe zweier vorausgegangener Jahre. In *b* ist die Basis des Stengels zu sehen, der in Blüte stand, als das Rhizom dem Boden entnommen wurde; *a* ist die Knospe für den nächstjährigen Trieb. In Fig. 24 ist das als Wurzel tätige Rhizom einer in Humusboden wachsenden einheimischen Orchidee, der Coralliorrhiza innata, vorgeführt. — Zu den unterirdischen metamorphosierten Sprossen gehören auch die Zwiebeln (Bulbi). Sie stellen einen verkürzten Sproß vor, dessen typische Achse scheibenförmig als sogen. Zwiebelkuchen (Fig. 25 *zk*) abgeflacht ist, und dessen fleischig angeschwollene Blätter, die Zwiebelschuppen (*zs*), mit Nahrungsstoffen angefüllt sind. Aus der Achse dieser Zwiebel entwickelt sich der oberirdische Trieb. Eine neue Zwiebel geht aus einer Knospe (*k*) in der Achsel einer Zwiebelschuppe hervor. — Den Zwiebeln verwandt und mit ihnen durch Übergänge verbunden, sind die Knollen (Tubera). In der typischen Knolle ist, im Gegensatz zu der Zwiebel, die Achse fleischig angeschwollen und dient als Nährstoffbehälter, während die Blätter nur dünn und schuppenförmig sind. Die Knollen der Herbstzeitlose (Colchicum autumnale) oder des Safrans (Crocus sativus) lassen sich als Beispiel anführen. An der alten Knolle entsteht bei der Herbstzeitlose die neue, aus einer Achselknospe, seitlich an der Basis; beim Safran aus einer Achselknospe nahe am Scheitel; daher tritt bei der Herbstzeitlose die alte Knolle seitlich neben der alten auf, während sie beim Safran ihr aufgesetzt erscheint. — Die Knollen der Kartoffelpflanze (Fig. 26), oder der knolligen Sonnenblume (Topinambur, Helianthus tuberosus) sind ebenfalls unterirdische Sprosse mit angeschwollener Achse und reduzierten Blättern. Sie entstehen in Mehrzahl aus den angeschwollenen Enden verzweigter unterirdischer Triebe, der sogen. Ausläufer (Stolones), und gelangen so in angemessene Entfernung von der Mutterpflanze. Die an jeder Kartoffelknolle sichtbaren, regelmäßig verteilten Vertiefungen bergen Achselknospen, sogen. Augen, die bestimmt sind, im kommenden Jahr auszutreiben. Die kleinen schuppenförmigen Blätter, in deren Achseln die Augen entstehen, sind nur an ganz jungen Knollen kenntlich. Nach Ausbildung der Knollen geht die Mutterpflanze zu Grunde; die in den Knollen angehäuften Nahrungsstoffe dienen dann zum Aufbau der aus den Augen sich entwickelnden Triebe. Da die Knollen einer wilden Kartoffelpflanze im Boden verbleiben und einer größeren Anzahl von Pflanzen den Ursprung geben, so ist es von Vorteil, daß sie durch die Ausläufer auseinander gerückt werden.

Metamorphose oberirdischer Sprosse. Ähnliche Vorteile wie aus der Bildung stark verlängerter unterirdischer Sprosse erwachsen andern Pflanzen aus der Bildung oberirdischer Ausläufer. Solche wachsen beispielsweise aus den grundständigen Internodien der Erdbeerpflanzen hervor. Sie tragen schuppenförmige Blätter, treiben aus einzelnen Knoten Wurzeln, die in den Boden dringen, und bilden an denselben Knoten aus den Achselknospen neue Pflänzchen, die durch späteres Absterben der Ausläufer selbständig werden.

Eine auffällige Veränderung hat der oberirdische Sproß erfahren, wenn seine Achse abgeflacht ist und blattähnliche Gestalt besitzt. Dann vollzieht er auch die Funktionen eines Blattes und legt nur noch reduzierte Blätter an. Solche blattartige Sprosse werden als Flachsprosse, Cladodien und Phyllocladien bezeichnet und zwar schlägt Goebel vor, jene Flachsprosse, die gleichzeitig begrenztes Wachstum aufweisen und dadurch

besonders blattähnlich werden, Phyllocladien, andere verbreiterte Sproßachsen Cladodien zu nennen. Ein lehrreiches Beispiel für Phyllocladien gibt Ruscus aculeatus ab, ein kleiner Strauch, der an seinen Zweigen (Fig. 27), in der Achsel schuppenförmige Blätter (*f*), breite, in eine scharfe Spitze auslaufende Phyllocladien (*cl*) trägt, die durchaus den Eindruck von Blättern machen. Der Oberfläche dieser Phyllocladien entspringen in der Mittellinie, annähernd in ihrer halben Länge, aus der Achsel eines schuppenförmigen Blattes, eine bis zwei Blüten. Eine blattartige Abflachung des gesamten massig entwickelten Stammes, also Cladodien, mit Verengung an den Verzweigungsstellen, zeigen uns die bekannten Opuntien (Fig. 28). An ihren Flachsprossen sind die Blätter zu Dornen umgewandelt. Diese saftigen Flachsprosse dienen aber nicht allein den Assimilationsvorgängen, sondern auch als Wasserspeicher für Zeiten der Dürre.

Fig. 27. Zweig von Ruscus aculeatus. *f* Blatt, *cl* Phyllocladium, *bl* Blüte. Nat. Gr.

Es kann andererseits eine Pflanze ihre Blätter mehr oder weniger vollständig einbüßen, ohne daß die Achsenteile ihrer Sprosse sich in irgendwie auffälliger Weise verdicken oder abflachen. Nur sind alsdann ihre Sprosse grün gefärbt: so z. B. beim Besenstrauch (Spartium scoparium), der an seinen langen rutenförmigen Zweigen nur vereinzelte, hinfällige, lanzettliche Blättchen entwickelt. Meist pflegen aber blattlose, grüne Phanerogamen angeschwollene Stämme aufzuweisen: so die säulenförmigen, prismatischen oder cylindrischen, keulen- oder kopfförmigen Euphorbien und Cacteen.

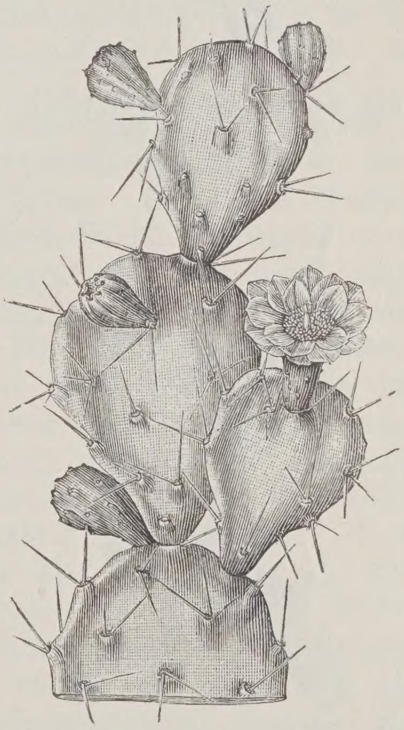


Fig. 28. Opuntia monacantha Haw. Mit Blüte und Früchten. Nach SCHUMANN. Etwa fünfmal verkleinert.

Reduktion der Sprosse bei Parasiten. Eine starke Reduktion der Blätter, vielfach aber auch der Stammteile, ist bei phanerogamen Parasiten infolge parasitischer Lebensweise erfolgt. An dem sogen. Teufelszwirn, den Cuscuta-Arten (Fig. 186 *b*), sind Blätter nur noch als ganz kleine gelbliche Schuppen vorhanden und auch der fadenförmige Stengel ist nicht grün, sondern gelb gefärbt. Die grüne Färbung ist überflüssig geworden, da der Teufelszwirn sich nicht selbst die Nahrung zu bereiten braucht, sondern sie aus andern Pflanzen schöpft. Besonders verbreitet kommt Cuscuta Trifolii, die Kleeseide, vor, ein auf dem Klee gefürchteter Parasit, der in den Kleefeldern oft weit sichtbare gelbe Flecke bildet. Bei gewissen tropischen Parasiten aus der Familie der Rafflesiaceen wird schließlich der Sproß im wesentlichen auf die Blüten reduziert. So sieht man auf Sumatra die größte der bekannten Blüten, die bis zu 1 m Durchmesser erreichende Blüte der Rafflesia Arnoldi, den Wurzeln ihrer rebenartigen Nährpflanze, einer Cissus-Art, unmittelbar aufsitzen.

Sproßranken. Eine ganz eigene Gestaltsveränderung haben bestimmte Sprosse klimmender Pflanzen erfahren bei ihrer Umbildung zu Ranken.

Solche Ranken dienen dem emporklimmenden Stamm als Befestigungsorgane und zwar, indem sie fremde Stützen umschlingen oder an denselben festhaften. Es sind das beispielsweise am Weinstock die fadenförmigen, zweiarmigen Gebilde, die der Weinbauer als „Gabeln“ bezeichnet. Bei gewissen Abarten des wilden Weins (Ampelopsis hederacea) und anderen Arten der Gattung Ampelopsis, so Ampelopsis Veitchii (Fig. 29), sind die Rankenzweige befähigt, an ihren Enden Haftscheiben auszubilden und sich mit diesen auch an flachen Stützen zu befestigen.

Fig. 29. Ampelopsis Veitchii. *R R* Sproßranken. 3/4 nat. Gr.

Sproßdornen. Eine starke Reduktion der Sprosse erfolgt bei ihrer Umbildung zu Dornen. Solche Dornen dienen dem Schutz der Pflanze gegen Tierfraß. Sie treten in lehrreicher Ausbildung bei dem Schwarzdorn (Schlehdorn, Prunus spinosa), dem Weißdorn (Crataegus oxyacantha), oder den in unseren Gärten häufig kultivierten Gleditschien (Fig. 30) auf. Die Dornen sind einfach oder verzweigt, hart und scharf zugespitzt; sie gehen bei den Gleditschien aus serial (S. 15) angelegten Achselknospen hervor und zwar ist es nur die oberste dieser Knospen, die sich an jungen Zweigen zum Dorn ausbildet, während an älteren Stammteilen stellenweise auch noch tiefer stehende Knospen ihrem Beispiel folgen, so daß Dornenbüschel entstehen. — Bei Colletia cruciata, einer strauchartigen amerikanischen Rhamnacee, die an trocknen, sonnigen Standorten wächst, sind alle Sproßachsen dornartig ausgebildet, zugleich etwas abgeflacht und grün; sie schützen nicht allein die Pflanze, sondern ersetzen auch die bald abfallenden Blättchen.

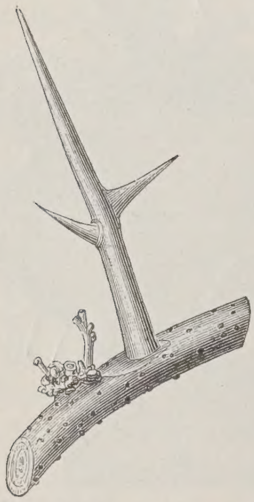


Fig. 30. Stammdorn von Gleditschia triacanthos. 1/2 nat. Gr.

Blüten. Die stärksten Veränderungen der Gestalt der Sprosse, verbunden mit Verwachsungen und Verschiebungen der Teile, haben sich bei der Ausbildung der phanerogamen Blüten vollzogen (Fig. 38). Man hat die zu Blüten entwickelten Sprosse als Blütensprosse im Gegensatz zu den nur vegetativen Funktionen dienenden Laubsprossen bezeichnet. Bei der Umwandlung zum Blütensproß erfuhr die Sproßachse nicht nur eine starke Verkürzung, sondern auch eine Abflachung, unter Umständen auch eine Aushöhlung. Die Blattgebilde, welche der Blütenachse entspringen, sind ihrerseits oft untereinander und in manchen Fällen auch mit der Achse verwachsen und eingehende vergleichende morphologische und entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen sind dann nötig, um die Phylogenie der Veränderung aufzudecken. Als allgemeine Regel kann gelten, daß, von Mißbildungen abgesehen, Achselknospen innerhalb einer Blüte nicht gebildet werden.

Sproßfolge. Ist der erste Vegetationskegel einer Pflanze, nach entsprechender Erstarkung, schon zur Bildung der Fortpflanzungsorgane befähigt, so wird die Pflanze einachsig (haplocaulisch) genannt. Meist kommt aber

erst Achsen zweiter, dritter, vierter oder n-ter Ordnung diese Fähigkeit zu. Demgemäß ist die Pflanze zweiachsig (diplocaulisch), dreiachsig (triplocaulisch), oder n-achsig. Man bezeichnet diese Aufeinanderfolge ihrer Achsen als Sproßfolge. Als Beispiel einer einachsigen Pflanze kann der Mohn dienen, der schon seinen ersten, aus dem Keim hervorgegangenen Sproß mit einer Blüte, demjenigen Gebilde somit, welches bei den Phanerogamen die Geschlechtsorgane birgt, abschließt. Als Beispiel einer dreiachsigen Pflanze kann der große Wegerich, Plantago major, angeführt werden, der an seiner ersten Achse, nach den Niederblättern, nur Laubblätter, an den Achsen zweiter Ordnung nur Hochblätter trägt und aus den Achseln der letzteren die mit Blüten abschließenden Achsen dritter Ordnung erzeugt. An unseren Bäumen sind erst Sprosse n-ter Ordnung befähigt Blüten zu erzeugen. So pflegt in der Sproßordnung verzweigter Pflanzen eine Arbeitsteilung vorzuliegen, die sich meist auch in einer entsprechenden, äußeren Ausgestaltung der Sprosse äußert. Sie zeigen verschiedene Tracht, je nachdem sie vornehmlich im Dienste der Ernährung, der Speicherung, oder der Fortpflanzung stehen. Außer den Gliedern, die in der Sproßfolge notwendigerweise durchlaufen werden müssen und die als wesentliche gelten, gibt es auch unwesentliche, welche schon vorhandene Sproßordnungen wiederholen. Entweder treten sie als Bereicherungssprosse zugleich mit den wesentlichen Sprossen auf, so bei vielen einjährigen Gewächsen, oder sie entfalten sich als Erneuerungs- oder Innovationssprosse alljährlich am Pflanzenstock, so bei den mehrjährigen Gewächsen. Adventive Sprosse wiederholen im allgemeinen nur schon vorhandene Glieder des Pflanzenkörpers; nur ganz ausnahmsweise, so bei den Podostemonaceen, einer wasserbewohnenden dikotylen Familie der Tropen, von merkwürdigem lebermoosartigem Aussehen, bilden sie notwendige Glieder in der Sproßfolge.

Der Habitus. Ursprung, Zahl, Dauer und Ausbildung der Verzweigungssysteme, Vorhandensein und Menge der unwesentlichen Sprosse, bestimmen das Aussehen, den sogen. Habitus der Pflanze. Die als Kräuter bezeichneten Kormophyten bilden krautartige, oberirdische Sprosse, oder Obersprosse, von der Dauer meist einer, beziehungsweise von zwei oder mehr Vegetationsperioden, die nach erfolgter einmaliger Fruchtbildung absterben und damit ihre Entwicklung vollenden. Die als Stauden unterschiedenen Pflanzen besitzen ausdauernde Rhizome oder Wurzeln, die im Boden überwintern und alljährlich Erneuerungssprosse bilden, die als krautartige Obersprosse nach einmaliger Fruchtbildung absterben. Die als Sträucher und Bäume bezeichneten Holzgewächse bestehen aus holzbildenden, ausdauernden Obersprossen, die wiederholt fruktifizieren. Ihre fruktifizierenden Sproßteile werfen sie alljährlich ab, manche auch, wie z. B. die Linde die Endstücke der beblätterten Zweige, oder wie die Kiefer die Kurztriebe, oder wie die Eichen, Ulmen, Weiden, Pappeln schwächere Seitenzweige, während die übrigen Achsen sich weiter verdicken und als Astwerk erhalten bleiben. Bei immergrünen Holzgewächsen bleiben die Blätter durch mehrere Jahre am Leben, während sie bei laubwerfenden nur eine Vegetationsperiode dauern. Die Holzgewächse heißen Sträucher, wenn alle Zweige erhalten bleiben, so daß die Verzweigung vom Boden aus anhebt; sie heißen Bäume, wenn die unteren Zweige bald verloren gehen und ein Hauptstamm zur Ausbildung kommt, der oben eine Krone von Ästen und Zweigen trägt. Bei vielen Bäumen, Sträuchern und Kräutern wächst der Hauptsproß senkrecht aufwärts fort, während die Seitensprosse sich seitwärts wenden und eine mehr oder weniger horizontale, beziehungsweise eine

schräg aufwärts oder abwärts gerichtete Stellung annehmen. In anderen Fällen setzen einzelne Seitenzweige die Hauptsprosse fort, um eine Scheinachse zu bilden, die als Hauptachse ausgestaltet wird (S. 13); oder eine solche Hauptachse kommt überhaupt nicht zur Geltung und der Pflanzenkörper weist eine Mehrzahl gleichgerichteter Zweige auf. Richtung und Stärke der Äste und der laubtragenden Zweige bestimmt das Aussehen eines Pflanzenkörpers. Wenn alle Äste und ihre Zweige stark emporgerichtet sind, entstehen pyramidale Pflanzenformen, bei starker Divergenz der Verzweigung breit pyramidale, ovale und runde Gestalten. In besonders auffälliger Weise wird durch diese Verschiedenheiten der Habitus unserer Baumkronen bestimmt, wobei durch schlaffes Herabhängen rutenförmig dünner Zweige auch Trauerformen entstehen. — Nicht selten kommen bei krautartigen Gewächsen kriechende Stengel vor, die an der Oberfläche des Bodens fortwachsen, und bei krautartigen sowohl wie bei Holzgewächsen kletternde Formen, deren Sprosse in verschiedener Weise an fremder Stütze emporzuklimmen versuchen. Das wird durch widerhakenförmige Haare, durch Wurzeln, durch Ranken und durch windende Bewegungen erreicht. Die kletternden Gewächse werden Lianen genannt, ihre windenden Formen als Schlingpflanzen bezeichnet. Die tauartigen Stämme der als Lianen ausgebildeten Holzgewächse sind es, die den Urwald in ein undurchdringliches Dickicht verwandeln. An kriechenden Sprossen pflegen die Blätter meist nach der Rückenseite verschoben zu sein, während der Bauchseite Wurzeln, den Flanken neue Sprosse entspringen.

Die Lebensdauer der Gewächse wird in Pflanzenbeschreibungen und Katalogen gewöhnlich durch eigene Zeichen ausgedrückt. ⊙ bedeutet dabei eine einjährige „annuelle" Pflanze, ⚇ eine zweijährige „bienne", ♃ eine ausdauernde „perennierende" Staude, ♄ einen Strauch oder Baum. Für letztere Wuchsform ist auch das zweimal durchstrichene Zeichen ♄ in Gebrauch.

Anlage des Blattes. Wir sahen die Blattanlagen in Gestalt von Höckern oder Wülsten am Vegetationskegel der Sprosse auftreten (Fig. 17 *f*). Diese ihre Gestalt wird noch deutlicher, wenn wir den Vegetationskegel nicht auf Längsschnitten, sondern an einem Querschnitt in Scheitelansicht betrachten (Fig. 31). Für gewöhnlich nimmt eine Blattanlage nur einen Teil des Umfanges des Vegetationskegels in Anspruch, doch kommt es auch vor, daß sie als ringförmiger Wall den ganzen Vegetationskegel umfaßt. Wenn Blätter in Wirteln stehen, können ihre Anlagen als einziger kreisförmiger Wall in die Erscheinung treten und sich weiterhin erst sondern. Die Blätter nehmen aus dem Gewebe der embryonalen Sproßvegetationspunkte oder noch ungesonderter Keimanlagen ihren Ursprung. Aus älteren Geweben treten sie niemals unmittelbar hervor. Da geht ihrer Bildung die Anlage eines neuen Sproßvegetationspunktes voraus. Dem Vegetationspunkt eines Sprosses kommt im allgemeinen ein unbegrenztes, den Blattanlagen im allgemeinen ein begrenztes Wachstum zu. Auch pflegt eine Blattanlage meist nur kurze Zeit an ihrer Spitze zu wachsen, vollzieht dann ihre Gliederung und Ausbildung durch interkalares Wachstum, das an ihrer Basis lokalisiert zu sein pflegt. Freilich gibt es auch Blätter, vor allem die der Farnpflanzen, die nicht nur längere Zeit, ja in einigen Fällen (Lygodium-Arten) fast unbegrenzt, fortwachsen, sondern auch Scheitelwachstum besitzen und

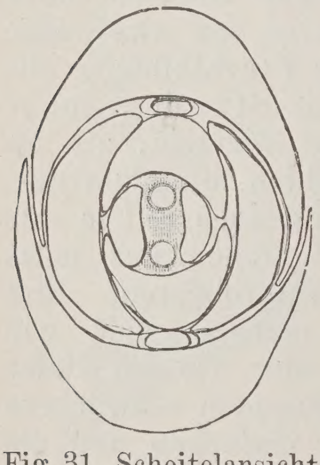


Fig. 31. Scheitelansicht eines Sproßvegetationskegels von Evonymus japonicus. Vergr. 12.

ihre seitlichen Glieder scheitelwärts anlegen. Andererseits weist das blattähnliche Phyllocladium, das wir als einen metamorphosierten Sproß erkannten, auch begrenztes Scheitelwachstum, wie sonst phanerogame Blätter, auf.

Wir erfuhren bereits, daß in bestimmten Fällen Blätter auch terminal aus einem in ihrer Bildung sich aufbrauchenden Sproßvegetationskegel hervorgehen können. So auch vermag der Scheitel mancher Farnblätter (Adiantum Edgeworthii) unmittelbar in der Bildung eines Sproßwirtels aufzugehen ([9c]).

Die zunächst ungegliederte Blattanlage der Phanerogamen, die sich aus dem Vegetationskegel (Fig. 32 *A, v*) des Sprosses erhebt und die Eichler ([10]) als Primordialblatt bezeichnet (*A, b*), pflegt eine Sonderung in den Blattgrund (*A* und *B, g*) und in das Oberblatt (*A* und *B, o*) zu erfahren. Als Blattgrund gilt derjenige Teil der Anlage, der dem Vegetationskegel unmittelbar aufsitzt. Er nimmt an der weiteren Differenzierung des Blattes entweder keinen Anteil mehr, oder er entwickelt sich zu einer Blattscheide (Vagina) oder zu Nebenblättern (Stipulae) (Fig. 32 *A* und *B, g*). Aus dem Oberblatt geht andererseits die Blattspreite (Lamina) hervor. Wo ein Blattstiel (Petiolus) entsteht, wird er nachträglich durch interkalares Wachstum zwischen Oberblatt und Blattgrund eingeschaltet.

Verschiedene Ausgestaltung des Blattes. Die weitestgehenden Verschiedenheiten in seiner endlichen Ausgestaltung hat das Blatt bei den Phanerogamen aufzuweisen; es wird daher besonders lehrreich sein, dort seine Metamorphose zu verfolgen. Was wir für homologe Blattgebilde bei den Phanerogamen ansehen dürfen, läßt sich als Niederblätter, Laubblätter, Hochblätter und Blütenblätter unterscheiden (Fig. 33). Da Niederblätter und Hochblätter oft nachweisbar Hemmungsgebilde von Laubblättern sind, so fassen wir letztere zunächst ins Auge.

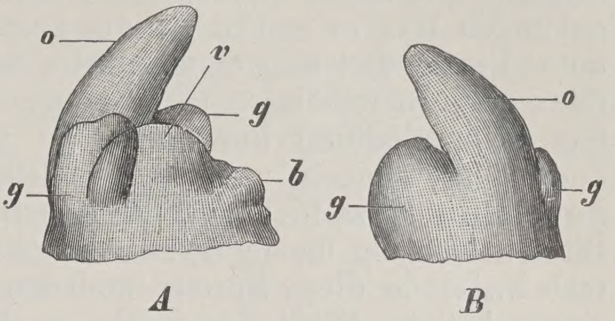


Fig. 32. Blattentwicklung bei der Feld-Ulme (Ulmus campestris). *A* Der Vegetationskegel *v*, mit zwei Blattanlagen. Die jüngste Blattanlage *b* noch ungegliedert, die nächst ältere gegliedert in Oberblatt *o* und Blattgrund *g*. *B* das ältere Blatt von *A*, schräg von außen gesehen. Vergr. 58.

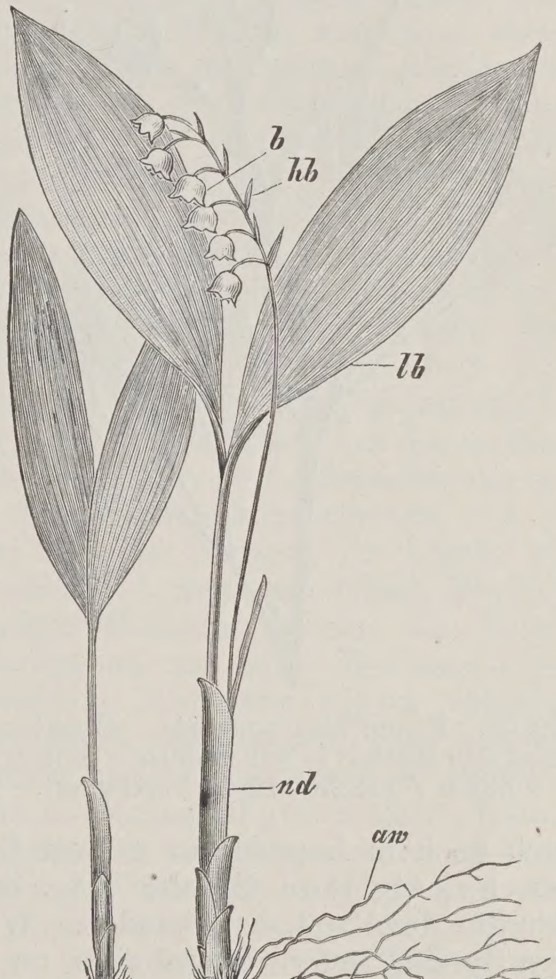


Fig. 33. Maiblume (Convallaria majalis). *nd* Niederblätter, *lb* Laubblätter, *hb* Hochblätter, *b* Blüte, *ws* Wurzelstock, *aw* Adventivwurzel. Etwas verkleinert.

Laubblätter sind jene meist besonders stark entwickelten Blattgebilde, denen vor allem die Aufgabe zufällt, für die Ernährung der Pflanze zu sorgen. Da diese Funktion an das Vorhandensein des grünen Farbstoffes gebunden ist, so zeigen sie demgemäß grüne Färbung. Ihre Gestalt kann unter Umständen sehr einfach sein, so bei den nadelförmige Blätter (Nadeln) führenden Nadelhölzern (Koniferen). In solchem Falle braucht tatsächlich das Primordialblatt nur an Größe zuzunehmen und sich entsprechend zu verlängern, ohne in anderweitige Gliederung einzugehen. Bei anderen ungeteilten lanzettlichen, elliptischen, eiförmigen oder sonstwie gestalteten Blättern ist die flache Spreite meist vom Blattgrunde gesondert und vielfach zwischen diese Spreite und den Blattgrund noch ein Stiel (Fig. 36 *s*) eingeschaltet. Fehlt der Stiel, so heißt das Blatt sitzend, ist er vorhanden, gestielt. Die ungestielten Blätter sitzen meist mit breiter Basis dem Stengel an. Greift diese Basis jederseits noch um den Stengel, so ist das Blatt stengelumfassend, so beim Mohn (Papaver somniferum); umgibt sie geschlossen den Stengel, dann heißt das Blatt durchwachsen, so bei Bupleurum-Arten. Sind zwei gegenüberstehende Blätter am Grunde verbunden, so heißen sie verwachsen, so beim Geisblatt (Lonicera Caprifolium). Setzt sich die Spreite abwärts am Stengel flügelartig fort, so wird das Blatt als herablaufend bezeichnet, wie beim großblumigen Wollkraut (Verbascum thapsiforme). Der Blattstiel, wenn vorhanden, geht entweder ohne scharfe Abgrenzung in den Blattgrund über, oder er schwillt an seiner Basis an und bildet ein Blattkissen oder Blattpolster, das gelenkartig mit dem Blattgrunde verbunden ist, so bei vielen Leguminosen (Fig. 214). Die Blattspreite ist ihrerseits vom Blattstiel entweder scharf abgesetzt, oder sie läuft an ihm hinab, so daß er geflügelt wird, oder sie verbreitert sich auch noch in Lappen an seinem Grunde, so daß er geöhrt erscheint. An der ungeteilten Spreite (Fig. 36 *sp*) sind keine oder nur seichte Einschnitte des Randes vorhanden. Werden hingegen während der Ausbildung der Spreite tiefere Einschnitte an ihr erzeugt, so heißt das Blatt, wenn diese Einschnitte nicht bis zur Mitte der Spreitenhälften reichen, gelappt; wenn sie bis zu ihrer Mitte gehen, gespalten (Fig. 34 *sb*); wenn sie über diese Mitte hinaus sich fortsetzen, geteilt (Fig. 37 *l*), wenn sie die Mitte der ganzen Spreite oder ihren Grund erreichen, geschnitten. Die Teilung der Spreite ist eine fingerartige oder fiederartige, je nachdem die Einschnitte gegen den Grund der Spreite zusammenlaufen oder gegen deren Mittelrippe gerichtet sind. Nur wenn die einzelnen Abschnitte der Spreite so selbständig sind, daß sie gesonderte Einfügung an dem gemeinsamen Blattstiel, oder an der aus der ursprünglichen Spreitenanlage hervorge-

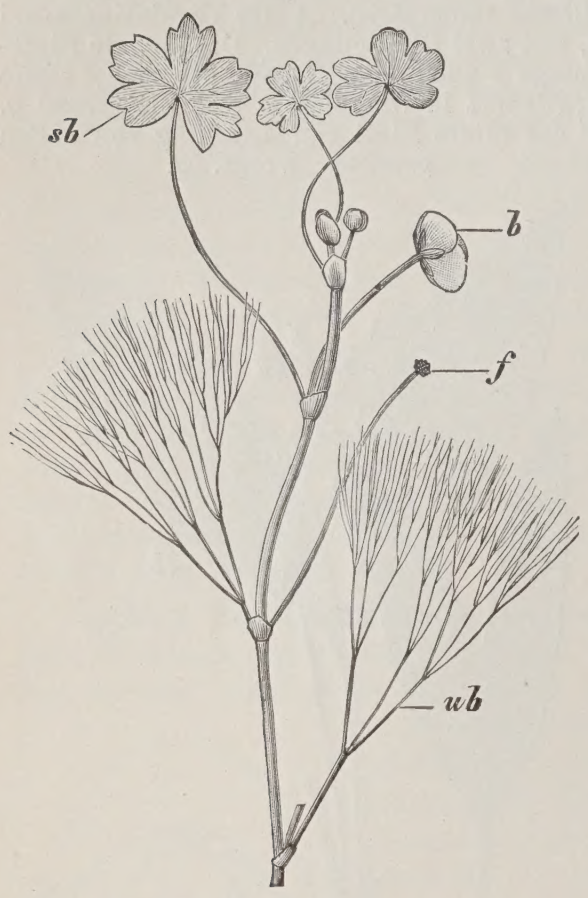


Fig. 34. Ranunculus aquatilis. *ub* untergetauchte Blätter, *sb* schwimmende Blätter, *b* Blüte, *f* Fruchtanlage. Verkleinert.

gangenen Mittelrippe, der Spindel, zeigen, heißt das Blatt zusammengesetzt (Fig. 34 *ub*); in allen anderen Fällen gilt es als einfach. Die einzelnen selbständigen Teile des zusammengesetzten Blattes werden als Teilblättchen oder kurzweg als Blättchen bezeichnet. Diese Blättchen können während ihrer Entwicklung eine ähnliche Gliederung wie die Anlage, aus der sie hervorgingen, erfahren und an ihren Gliedern kann sich die nämliche Erscheinung wiederholen. So werden doppelt und dreifach zusammengesetzte Blätter erzeugt. Besonders häufig kommen die einfach und doppelt gefiederten Blätter vor, wobei die Blättchen nach zwei Seiten an Spindeln zweiter, beziehungsweise dritter Ordnung eingefügt sind. Die Blättchen eines zusammengesetzten Blattes können diese oder jene Gestalt besitzen, ganzrandig oder mehr oder weniger tief eingeschnitten sein. Sie sitzen unmittelbar der Spindel an oder sind gestielt und unter Umständen sogar, wie bei Robinia, Mimosa, mit angeschwollenen Gelenkpolstern an der Einfügungsstelle versehen. Ein Blatt, dessen Abschnitte nur einseitig nach außen neue Abschnitte ausgliedern, die ihrerseits auch nur einseitig in gleicher Richtung neue Glieder bilden, wird als fußförmig (Fig. 37 *l*) bezeichnet.

Der Rand eines einfachen Blattes, oder auch eines Teilblättchens, kann gesägt, gezähnt, gekerbt oder ausgeschweift sein und wird dieses sein Verhalten, sowie die Gestalt und Gliederung des ganzen Blattes, bei der Bestimmung der Pflanzen verwertet. Auch die Aderung oder Nervatur des Blattes kommt alsdann in Betracht; sie zeichnet sich mehr oder weniger deutlich an der Oberseite der Spreite, meist weit deutlicher an deren Unterseite und veranlaßt dort oft die Bildung vorspringender Rippen. Vielfach ist ein in der Mediane der Spreite verlaufender Nerv besonders entwickelt und heißt dann Mittelnerv oder Hauptnerv. Es können aber auch mehrere gleich starke Nerven als Hauptnerven ausgebildet sein. Von dem Hauptnerv oder den Hauptnerven entspringen Seitennerven. Die Bezeichnungen der Nervatur richten sich nach der Art des Nervenverlaufs. Man unterscheidet im besonderen die streifige Nervatur, bei der mehrere Hauptnerven annähernd parallel oder im Bogen in der Längsrichtung der Spreite verlaufen (Fig. 35 *s*) und gegen deren Enden konvergieren, von der netzartigen Nervatur (Fig. 180), bei der die Nerven, an Stärke abnehmend, auseinander entspringen und schließlich in einem feinen Maschenwerk ihren Abschluß finden. Bei streifiger Nervatur pflegen die Hauptnerven durch schwache Quernerven verbunden zu sein. Bei netzadriger Nervatur unterscheidet man weiter zwischen fiedernervigen Blättern, wenn einem medianen Hauptnerv Seitennerven entspringen, die ihrerseits sich ähnlich verzweigen, bis daß die letzten Zweige netzförmig abschließen, und handnervigen Blättern, wenn mehrere annähernd gleich starke Hauptnerven an der Basis der Spreite auseinandergehen und Seitennerven abgeben, deren letzte Auszweigungen ein Netzwerk bilden. Die streifige Nervatur kennzeichnet im allgemeinen die zu den Monokotylen, die netzadrige die zu den Dikotylen gehörenden Phanerogamen. Auch kommen den Monokotylen vorwiegend nur einfache Blätter zu, während die zusammengesetzten eine häufige Erscheinung bei den Dikotylen sind. Nicht minder treten gestielte Blätter weit häufiger bei den Dikotylen als bei den Monokotylen auf.

Die Nerven verleihen der Spreite die nötige mechanische Festigkeit und ermöglichen so deren flache Ausbreitung. Oft folgen Nervenzweige dem Rande der Spreite und verhindern auf diese Weise ihr Einreißen. Dünnere Spreiten von größerer Ausdehnung, denen Randnerven fehlen, werden von Wind und Regen leicht in Streifen zerlegt. Regelmäßig erfolgt das bei den Bananen (Musa-Arten), die daher unter freiem Himmel ein ganz anderes Aussehen wie in unseren Gewächshäusern besitzen. So zer-

teilte Bananenblätter weichen leichter den Angriffen der Atmosphärilien aus. Die Palmenblätter, die bei ihrer Anlage ungeteilt und gefaltet sind, werden während der Entfaltung in schmale Streifen zerrissen, was ihnen gleichen Vorteil bringt. In der großen Spreite der Blätter der Aroidee Monstera bilden sich mit ähnlichem Erfolge Löcher aus. Viele Blattspreiten werden sofort geteilt angelegt. Untergetauchte Blätter von Wasserpflanzen, die auch meist sich fein zerteilt zeigen, sind dies hingegen nicht nur aus mechanischen Gründen, sondern auch der Ernährung wegen, damit die Blattfläche mit möglichst großen Wassermengen in Berührung komme. Demgemäß sehen wir oft bei solchen Wasserpflanzen, wie dem Wasser-Hahnenfuß (Ranunculus aquatilis), welche sowohl schwimmende als auch untergetauchte Blätter besitzen, daß nur letztere vielspaltig sind (Fig. 34). — Die vorgezogene Spitze, mit der die Spreiten der Laubblätter bei so vielen Landpflanzen abschließen, soll, als Träufelspitze, nach STAHL das Abfließen des Wassers von der Blattfläche erleichtern und damit deren schnelleres Abtrocknen befördern. Bei verschiedenen tropischen und zwar vornehmlich kletternden Gewächsen eilt, nach RACIBORSKI, die Spitze des Blattes als Vorläuferspitze der Entwicklung der Spreite voraus und vollzieht zunächst ihre Funktion. Fleischige, sogen. succulente Blätter dienen wie fleischige Stengelteile der Wasserspeicherung.

Heterophyllie. Manche Pflanzen sind dadurch ausgezeichnet, daß sie verschieden gestaltete Laubblätter ausbilden. Ein solches Verhalten wird als Heterophyllie bezeichnet. Die voneinander abweichenden Laubblätter folgen in verschiedenem Alter der Pflanze aufeinander beim Fieberbaum (Eucalyptus globulus), der in der Jugend ovale sitzende, später sichelförmige gestielte Blätter trägt. In anderen Fällen können sie eine Anpassung an das umgebende Medium darstellen, so beim Wasserhahnenfuß (Ranunculus fluitans und aquatilis), dessen schwimmende Blätter gelappt, dessen untergetauchte Blätter fein zerschlitzt sind (Fig. 34). — So auch bilden manche epiphytische Farne aus den Gattungen Polypodium und Platycerium abwechselnd gefiederte, gestielte Blätter, welche als Assimilationsorgane fungieren und ungestielte, breite, meist herzförmige „Nischenblätter", in welchen Humus sich sammelt oder welche, wenn sie als „Mantelblätter" dem Substrat angeschmiegt sind, selbst, rasch absterbend, zu Humus werden. Der so angesammelte oder erzeugte Humus wird von den Farnwurzeln durchsetzt (10a).

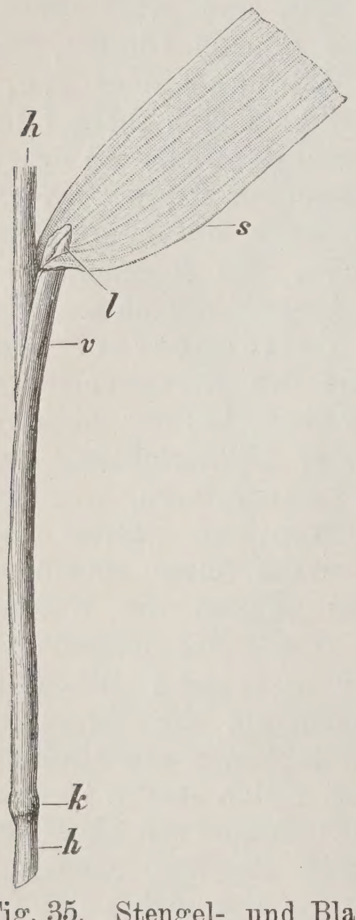


Fig. 35. Stengel- und Blattstück einer Graminee. *h* Halm, *v* Blattscheide, *k* Anschwellung der Blattscheide über dem Knoten, *s* Stück der Blattspreite, *l* Ligula. Nat. Gr.

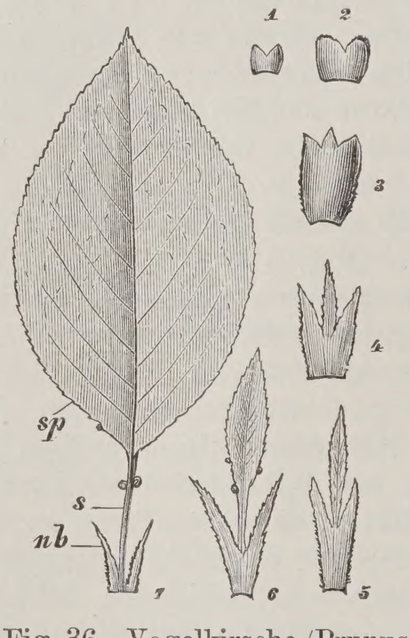


Fig. 36. Vogelkirsche (Prunus avium). Knospenschuppen 1—3 und die Übergangsformen 4—6 zum Laubblatt 7. *sp* Blattspreite, *s* Stiel, *nb* Nebenblätter. Etwas verkleinert.

Blattgrund. Sehr häufig bildet sich bei Monokotylen der Blattgrund zu einer Scheide aus, während dies bei den Dikotylen selten erfolgt. Bei

den Gräsern (Gramineen) ist die Scheide (Fig. 35 *v*) auf der einen Seite zerspalten, bei den Riedgräsern (Cyperaceen) hingegen völlig geschlossen. Die Scheide der Gräser setzt sich am Grunde der Blattspreite in einen häutigen Auswuchs, die Ligula (*l*), fort. Die Scheide schützt bei diesen Gewächsen das am Grunde fortwachsende, daher dort weich bleibende Internodium und verleiht ihm gleichzeitig die nötige Festigkeit. — Die Nebenblätter oder Stipeln, wo solche aus dem Blattgrunde entstehen, können ganz unscheinbar ausgebildet sein (Fig. 36 *nb*), oder auch ansehnliche Größe erreichen. Besteht ihre Funktion darin, nur die jungen Anlagen in der Knospe zu schützen, so sind sie meist gelblich oder bräunlich gefärbt und fallen frühzeitig ab. Anders, wenn sie an der Ernährung der Pflanze sich beteiligen, oder das zu anderen Aufgaben umgebildete Oberblatt in dieser Richtung vertreten (Fig. 48 und 49). Dann sind sie grün gefärbt, im Bau ganz mit der Spreite eines Oberblattes übereinstimmend. In typischen Fällen werden sie in Zweizahl, also je eins zu beiden Seiten des zugehörigen Blattes, ausgebildet. Bei manchen Galium-Arten, wo die Nebenblätter vollständig dem Oberblatt gleichen, glaubt man sechsblättrige Blattquirle vor sich zu haben, während tatsächlich nur je zwei Blätter mit ihren Nebenblättern den Wirtel bilden. Das stellt man leicht an dem Umstande fest, daß nur zwei dieser Blattgebilde mit Achselknospen versehen sind. Bei anderen Galium-Arten (Gal. cruciatum, palustre) sind nur vier Glieder im Quirl vertreten, weil je zwei benachbarte Nebenblätter zu je einem verschmolzen sind. In manchen Fällen streckt sich der Blattgrund und es bilden die Nebenblätter Anhängsel an ihm. Das macht den Eindruck mit einem Blattstiel verwachsener Nebenblätter, so beim Klee und bei den Rosen. Die beiden Nebenblätter sind in anderen Fällen mehr oder weniger vollständig zu einem einzigen Nebenblatt vereint, das demgemäß in der Blattachsel zu stehen kommt. Die Nebenblätter können den Stengel umfassen und eine mehr oder weniger vollständig geschlossene Düte (Ochrea) bilden, die höher gelegenen Blattanlagen in der Knospe umhüllt, so bei dem in Zimmern oft kultivierten Gummibaum (Ficus elastica), wo die Düten durch jedes neu sich entfaltende Blatt an ihrem Grunde abgesprengt und emporgehoben werden, so auch bei den Polygonaceen, wo sie von den Blättern durchbrochen, als trockene Scheiden am Stengel verbleiben.

Die **Niederblätter** stehen in ihrer Gliederung den Laubblättern bedeutend nach; sie sind für gewöhnlich schuppenförmig ausgebildet und ungestielt. An der Ernährung der Pflanze sind sie nicht beteiligt, sie stellen vornehmlich Schutzorgane vor. Die wichtigste Aufgabe erfüllen die Niederblätter als Knospenschuppen (Fig. 36). Sie erlangen dann entsprechende Härte und Dicke und färben sich im allgemeinen braun. Sie entstehen am häufigsten aus dem sich entsprechend vergrößernden Blattgrund. Das Oberblatt kommt dann entweder gar nicht zur Entwicklung, oder man findet es in mehr oder weniger reduziertem Zustande am Scheitel des Niederblattes vor. Eine austreibende Winterknospe der Roßkastanie (Aesculus Hippocastanum) im Frühjahr zeigt dies unmittelbar; denn während ihre äußeren Knospenschuppen an der Spitze kaum etwas von einem Oberblatte erkennen lassen, tragen die inneren Knospenschuppen oft schon deutlich eine kleine Blattspreite. In anderen Fällen sind die Niederblätter ihrem Ursprunge nach Nebenblätter (Fig. 36), gehören somit auch dem Blattgrunde an. In noch anderen Fällen sind sie endlich ganze, im ungegliederten Zustande verbliebene, nur entsprechend vergrößerte Primordialblätter. An den Knospen der Eiche werden die Schuppen von Nebenblättern erzeugt; die zugehörigen Oberblätter sind nur als ganz kleine Schüppchen ausgebildet. — Schuppenförmige, meist farblose Niederblätter, in verschiedenen Graden der Reduktion,

finden wir an unteren Sproßteilen (Fig. 33), Rhizomen (Fig. 23), an den Zwiebeln (Fig. 25) und Knollen (Fig. 26); ihre Anlage geht auch an den oberirdischen Sprossen, die aus den Rhizomen entspringen, meist der Laubblattbildung voraus und ist durch Übergänge mit ihr verbunden.

Die **Hochblätter** stimmen in der Gestalt mit den Niederblättern überein (Fig. 33 *hb*) und haben einen entsprechenden Ursprung. Sie dienen als Deckblätter für Blütensprosse und werden auch als Bracteen bezeichnet. Zwischenformen verbinden sie meist mit den Laubblättern (Fig. 37). Ihre Farbe ist nicht selten grün, sie können aber auch andere Färbung aufweisen oder ungefärbt sein.

Als **Blütenblätter** gehen die Blätter endlich in den Bau phanerogamer Blüten ein. In der höchsten Ausbildung, welche die Blüte bei den Phanerogamen erreicht, folgen in ihr, von außen nach innen, so wie die Fig. 38 zeigt, aufeinander: Kelchblätter (*k*), Kronblätter (*c*), Staubblätter (*a*) und Fruchtblätter (*g*). Die Kelch- und Kronblätter nähern sich in ihrer Gestalt den Hochblättern. Die Kelchblätter sind in den meisten

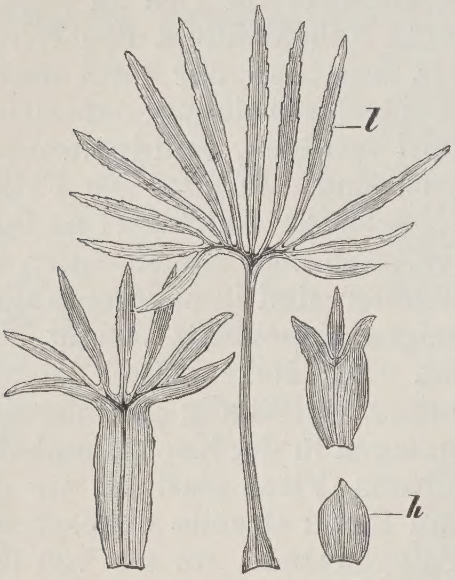


Fig. 37. Helleborus foetidus. Laubblatt (*l*) und Übergänge zum Hochblatt (*h*). Verkl.

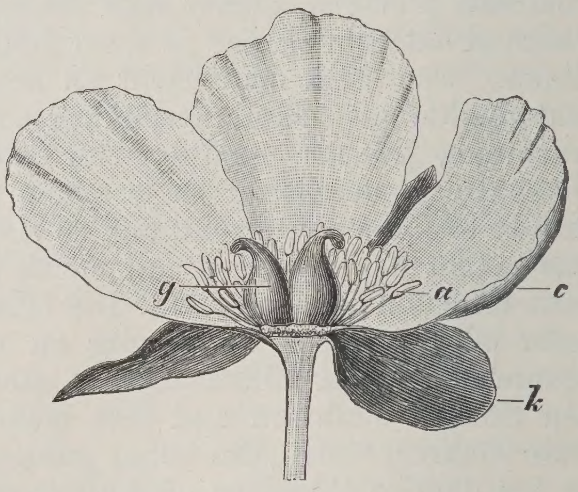


Fig. 38. Blüte von Paeonia peregrina. *k* Kelch, *c* Krone, *a* Staubblätter, *g* Fruchtblätter. Die vorderen Kelchblätter, Kronblätter und Staubblätter wurden entfernt, um die beiden, zwei getrennte Stempel bildenden Fruchtblätter zu zeigen. $^1/_2$ nat. Gr.

Fällen grün und derb, die Kronblätter andersfarbig und zart. Die Staubblätter nehmen fadenförmige Gestalt an, und bilden in bestimmten Behältern den Blütenstaub oder Pollen. Die Fruchtblätter schließen bei den bedecktsamigen Phanerogamen (Angiospermen) zu Behältern zusammen, in welchen die Samenanlagen erzeugt werden. Staub- und Fruchtblätter der Phanerogamen entsprechen den sporangientragenden Blättern der Gefäßkryptogamen. Diese Sporangienträger werden als Sporophylle bezeichnet und können bereits bei den Gefäßkryptogamen von der Gestalt der anderen Blätter mehr oder weniger abweichen.

Daß die Niederblätter und Hochblätter als Hemmungsbildungen der Laubblätter aufzufassen sind, lehrt nicht nur ihre Entwicklungsgeschichte, sondern auch die Möglichkeit, sie in Laubblätter überzuführen. So wenigstens gelang es Goebel([11]), Blattanlagen, welche Niederblätter erzeugt hätten, zur Laubblattbildung dadurch zu bewegen, daß er die Sprosse entgipfelte und entblätterte. Rhizome, die man zwingt, sich im Tageslichte zu entwickeln, bilden Laubblätter aus denselben Anlagen, die unter der Erde zu Niederblättern geworden wären, und selbst an Kartoffelknollen kann man kleine Laubblätter erhalten.

Blattnarben. Bei laubwerfenden Holzgewächsen hinterläßt das abgeworfene Blatt am Sproß die Blattnarbe. Demgemäß sieht man an entlaubten Holzgewächsen die Achselknospen über Blattnarben stehen.

Knospenlage und Knospendeckung. Wie Querschnitte durch die Winterknospen unserer Laubhölzer lehren, passen sich die Laubblattanlagen in verschiedener Weise den engen Raumverhältnissen in der Knospe an. Sie können flach ausgebreitet sein, sind aber vielfach auch der Länge nach zusammengelegt, auch gefaltet, gerollt (Fig. 39 *l*) oder zerknittert. Man nennt das ihre Knospenlage (vernatio). Andererseits sieht man die aufeinander folgenden Knospenschuppen sich entweder mit ihren Rändern nicht erreichen, oder mit ihren Rändern nur berühren, oder, was gewöhnlicher ist, mit den Rändern übereinander greifen (Fig. 39 *k*). Das nennt man Knospendeckung (aestivatio), und zwar im ersten Falle offene (ae. aperta), im zweiten klappige (ae. valvata), im dritten deckende oder dachziegelige (ae. imbricata) (Fig. 39 *k*). Wenn alle Blätter einer Knospe, wie das in Blütenknospen nicht selten ist, mit dem einen Rande das nächste Blatt

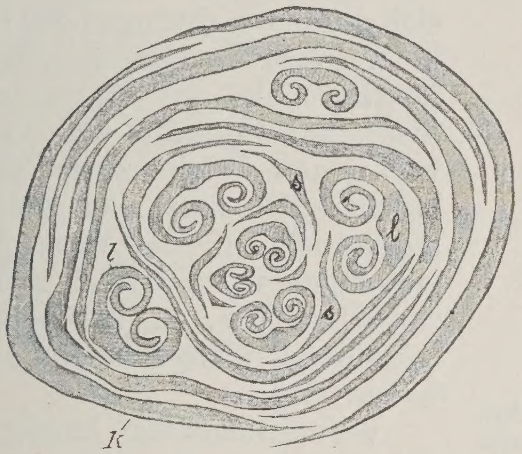


Fig. 39. Querschnitt durch eine Knospe von Populus nigra. Die Knospenschuppen *k* zeigen dachziegelige Deckung, die Laubblätter *l* haben eingerollte Knospenlage, zu jedem Laubblatt gehören zwei Nebenblätter *s s*. Vergr. 15.

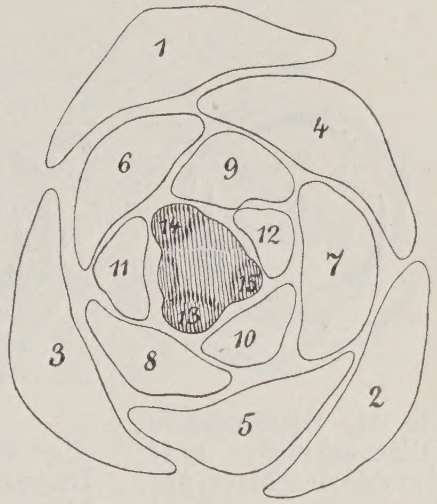


Fig. 40. Querschnitt durch eine Laubknospe von Tsuga canadensis, dicht über dem Sproßscheitel geführt, $^5/_{13}$ Divergenz. (Nach HOFMEISTER.)

decken, an dem andern Rande vom vorhergehenden Blatte gedeckt werden, oder umgekehrt, so heißt die Knospendeckung gedreht (ae. contorta).

Die Blattstellung. An aufrecht stehenden Langtrieben mit allseitig ausgebreiteten Blättern, und mehr noch an Kurztrieben mit dicht gedrängten Blättern fällt die Regelmäßigkeit der Blattstellung unmittelbar auf. Sie ist auch aus Knospenquerschnitten (Fig. 39) zu ersehen, vor allem aber aus Scheitelansichten solcher Vegetationskegel, wie des in Fig. 31 dargestellten. Da sieht man die neuen Anlagen in gesetzmäßiger Weise, unter entsprechender Ausnutzung des vorhandenen Raumes, an die vorhandenen anschließen. Nach SCHWENDENER(12) sind es rein mechanische Ursachen, welche die Anordnung der Blätter an gemeinsamer Achse bestimmen. Sie beruhen auf dem Druck und dem Zug, welche die stets in Kontakt tretenden Blätter an den Vegetationsspitzen veranlassen. Demgemäß soll die ursprüngliche Anordnung der Anlagen durch ihren gegenseitigen Druck bei fortgesetzter Größenzunahme eine Veränderung erfahren. Wächst die Achse nicht in die Länge, sondern nur in die Dicke, so werden die größer werdenden Insertionen der Blattanlagen durch longitudinalen Druck seitlich

verschoben; wächst die Achse in die Länge, aber nicht in die Dicke, so wird die Insertion der Blattanlagen durch transversalen Druck eine Verschiebung in der Querrichtung erfahren. Die Blattstellung soll sich auch ändern, also die Blattanlagen sich anders anordnen, wenn deren Größe, bei sich gleichbleibendem Umfang des Vegetationskegels, abnimmt, oder wenn die Blattanlagen ihre Größe beibehalten, der Umfang des Vegetationskegels aber zunimmt.

Plötzliche Änderungen der Stellungsverhältnisse pflegen bei Anlage der Blüten zu erfolgen, wobei der Vegetationskegel sich rasch vergrößert, die Blattanlagen zugleich kleiner werden. — Änderungen der ursprünglichen Stellung können ihre Ursache auch in Torsionen des Stammes haben. So treten die Blätter am Vegetationskegel der Pandanus-Arten in drei geraden Reihen auf und kommen dann, durch Drehung des Stammes, in die dieser Drehung entsprechenden Schraubenlinien zu stehen. — Ganz regellose Blattstellungen treten endlich in manchen Fällen, so am Blütenschaft der Kaiserkrone (Fritillaria imperialis) auf, wobei die Blattanlagen schon bei ihrem Auftreten am Vegetationskegel ungleiche Größe und unregelmäßige Verteilung zeigen. — Es mehren sich die Beobachtungen der Fälle, in welchen bestimmte Blattstellungen nicht auf Raumverhältnisse, auf Kontakt- und Druckwirkungen sich zurückführen lassen. Da läßt sich zunächst nur annehmen, daß diese Blattstellungen ihren Grund in inneren Ursachen, in der ererbten Organisation der Pflanzen selbst, haben([12 a]).

Fig. 41. Diagramm der Liliaceenblüte, unter ihm das Deckblatt; über ihm, durch einen schwarzen Punkt angedeutet, die Tragachse.

Fig. 42. Theoretisches Diagramm einer Irisblüte. Der fehlende Staubblattquirl ist durch Kreuze bezeichnet.

Verhältnismäßig häufig findet in der Laubblattregion die Ausbildung zweigliederiger, miteinander alternierender Quirle statt, so wie die Fig. 31 sie in der Anlage zeigt. Man nennt eine solche Blattstellung dekussiert. Mehrgliederige Quirle sind für Blüten charakteristisch. Bei sich gleich bleibender Zahl der Glieder im Quirl pflegen auch dort die Quirle regelmäßig zu alternieren. Häufig ändert sich aber die Zahl der Glieder in aufeinander folgenden Quirlen der Blüten, besonders beim Übergang von den Kronenblättern zu den Staubblättern, und von letzteren zu den Fruchtblättern. Bei manchen Pflanzen fehlt ein Quirl in der Blüte, den man nach der Stellung der Glieder in den anderen Quirlen, und nach den verwandtschaftlichen Beziehungen, erwarten müßte. So zeigt die Blüte der Lilien, dem höher stehenden Diagramm (Fig. 41) gemäß, fünf dreigliederige, regelmäßig alternierende Quirle und zwar einen dreigliederigen Kelch, eine dreigliederige Krone (beide werden bei den Liliaceen wegen ihrer Übereinstimmung im Aussehen als Perigon zusammengefaßt), einen äußeren und einen inneren Staubblattquirl und endlich in der Mitte drei miteinander vereinigte, die Alternation fortsetzende Fruchtblätter. Das Diagramm der Schwertlilien-(Iridaceen-)Blüte (Fig. 42) stimmt mit demjenigen der Lilienblüte überein, bis auf den fehlenden inneren Staubblattquirl. Die drei Fruchtblätter stehen aber so, als wenn der innere Staubblattquirl auch vorhanden wäre. Daher glaubt man sich zu der phylogenetischen Schlußfolgerung berechtigt, der

innere Staubblattquirl sei bei den Vorfahren der Iridaceen vorhanden gewesen und erst späterhin geschwunden. Trägt man auf Grund dieser phylogenetischen Erwägungen den fehlenden Staubblattkreis in das Diagramm der Blüte mit Kreuzen ein, so hat man ein theoretisches Diagramm konstruiert (Fig. 42). Im empirischen Diagramm werden hingegen solche, der theoretischen Erwägung nach fehlende Glieder nicht angegeben. — Auch wechselständige Blätter, die nur in Einzahl den Knoten entspringen, trägt man in entsprechende Diagramme ein. Man konstruiert auch dort das Diagramm, indem man die kegelförmig gedachte, senkrecht gestellte Achse horizontal projiziert und die aufeinander folgenden Knoten als konzentrische Kreise von gleichmäßig abnehmendem Radius zur Darstellung bringt (Fig. 43). Der Winkel, unter dem die Medianen von zwei aufeinander folgenden Blättern sich schneiden, heißt die Divergenz. Sie wird in Bruchteilen des Umfangs der Achse angegeben. Sind beispielsweise je zwei

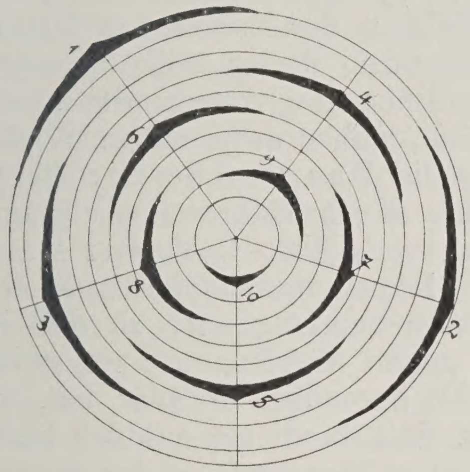


Fig. 43. Schema der $^2/_5$-Stellung. Die Blätter ihrer genetischen Aufeinanderfolge nach mit Zahlen versehen.

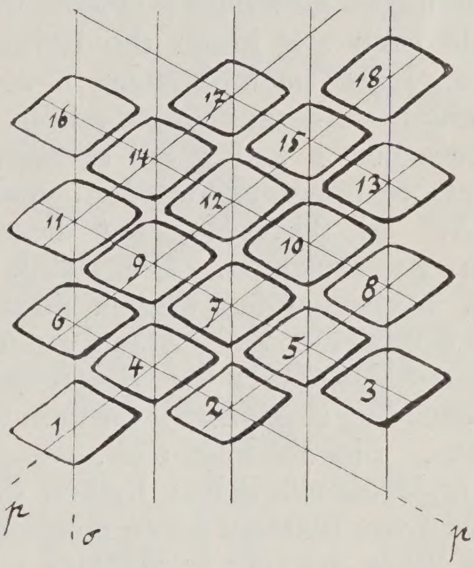


Fig. 44. Die $^2/_5$-Stellung auf der aufgerollten Oberfläche der Achse. *o* Orthostichen, *p* Parastichen. Die Blätter ihrer genetischen Aufeinanderfolge nach mit Zahlen versehen.

aufeinander folgende Blätter an der Achse um ein Drittel ihres Umfangs voneinander entfernt, so beträgt der Divergenzwinkel 120°, die Divergenz wird mit $^1/_3$ ausgedrückt. Das Diagramm Fig. 43 führt uns die $^2/_5$-Stellung vor. Es leuchtet ein, daß in einem solchen Falle, wo der seitliche Abstand von zwei aufeinander folgenden Blättern $^2/_5$ des Stengelumfanges beträgt, das sechste Blatt über dem ersten, das siebente über dem zweiten und so fort, zu stehen kommt. So bilden die Blätter an der Achse fünf gerade Reihen, die als Gradzeilen oder Orthostichen bezeichnet werden. Bei sehr gedrängter Blattstellung, wie sie an Kurztrieben gegeben ist, fallen aber nicht etwa diese Orthostichen, sondern steilaufsteigende Schraubenlinien auf, die als Schrägzeilen oder Parastichen gelten. Sie entstehen durch den Kontakt jener Blätter, deren seitlicher Abstand an der Achse am geringsten ist. In einem Schema kommen sie deutlich zur Anschauung, wenn man, wie in Fig. 44, die Blätter auf die in eine Ebene gelegte Oberfläche der Achse einträgt. Den Blättern ist in diesem Bilde die annähernde Gestalt der Schuppen am Tannenzapfen gegeben worden, bei welchen die

Parastichen scharf vortreten. Die Konstruktion zeigt ohne weiteres, daß die Summe der Parastichen auf jedem Querschnitt dieser Achse gleich der Zahl der Orthostichen sein muß. Man kann an Objekten, welche die Parastichen deutlich aufweisen, wie beispielsweise an den Zapfen der Nadelhölzer, diese Parastichen zur Bestimmung der Blattstellung benutzen. Man zählt sie in der einen und in der anderen Richtung im Umkreis des Zapfens ab und addiert die beiden Zahlen. Denkt man sich die Insertionsstellen der aufeinander folgenden Glieder an der Achse auf dem kürzesten Wege des Achsenumfanges durch eine Linie verbunden, so stellt diese eine die Achse umlaufende Schraubenlinie dar, die man die Grundspirale nannte. Jeden Abschnitt der Grundspirale, der durchlaufen werden mußte, um von irgend einem Blatte zu dem gerade über ihm stehenden zu gelangen, hat man als Cyklus bezeichnet. So waren im Cyklus bei $\frac{2}{5}$-Stellung fünf Blätter vertreten, und mußte die Schraubenlinie zweimal die Achse umlaufen, um deren Cyklus zurückzulegen. — Es fällt bei Vornahme von Blattstellungsbestimmungen auf, dass gewisse Divergenzen besonders häufig wiederkehren. Es läßt sich aus ihnen die Reihe $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{3}{8} \cdot \frac{5}{13} \cdot \frac{8}{21} \cdot \frac{13}{34}$ usw. bilden, wobei man jeden nachfolgenden Bruch durch Addieren der Zähler und Nenner der beiden vorhergehenden erhält. Die Divergenzen dieser Reihe bewegen sich zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{3}$ der Stengeloberfläche, differieren voneinander immer weniger, je höher sie werden, und nähern sich immer mehr einem Winkel von 137° 30′ 28″. Man hat diese Reihe als die Hauptreihe der Blattstellung bezeichnet. Die Fälle, welche sich dieser Hauptreihe einfügen lassen, herrschen bei weitem im Pflanzenreich vor. Ihre Entdecker waren Carl Schimper und Alexander Braun. Diese Hauptreihe weist ein rationales Verhältnis der Divergenzen zum Achsenumfang auf, so daß bei hinreichender Blätterzahl bestimmte Blätter genau übereinander zu stehen kommen. Sie zeichnet sich, wie Wiesner(12b) besonders erkannt hat, vor allen anderen möglichen Reihen dadurch aus, daß durch sie mit der kleinsten Zahl von Blättern deren möglichst gleichmäßige Verteilung an der gemeinsamen Achse erreicht wird. Das hat eine möglichst günstige Ausnutzung des Raumes zur Folge, eine gleichmäßige Belastung der Achse, und wenn diese vertikal steht, auch die beste Ausnutzung der Beleuchtung. Das fällt ganz besonders auf, wenn die Pflanze eine nur geringe Zahl von Blättern, etwa 2, 3 oder 4 von ihnen trägt. Diese Blätter stehen dann in gleichem Abstand voneinander, zum Wirtel angeordnet. So belasten sie gleichmäßig die Achse und empfangen alle den gleichen Anteil an dem zugänglichen Licht. Bei wechselständiger Anordnung der Blätter an vertikaler Achse sorgt die Größe und Form der Blätter und die Länge der Internodien dafür, daß jedem einzelnen Blatte der erforderliche Lichtgenuß zu teil werde. Doch ist diese Blattstellung für vertikale Achsen entschieden die ungünstigste, daher man bei Vorhandensein zahlreicher Blätter an solchen Achsen immer hohe Divergenzwerte findet. Anders ist es für geneigte Achsen, bei welchen die Stellungsverhältnisse der Blätter relativ niedrige sind. Annäherungen an $\frac{1}{3}$, oder selbst $\frac{1}{2}$, bilden da die häufigsten Fälle, weil diese die günstigsten Verhältnisse für die Beleuchtung schaffen. Diese günstige Anordnung wird überaus häufig durch Drehung der Internodien erreicht, so bei der verbreiteten dekussierten Blattstellung, die bei aufrechten Achsen die vierreihige Anordnung behält, bei geneigten Achsen durch Drehung eine zweireihige annimmt. Auch bei wechselständigen Anordnungen bilden sich sekundär diese Verhältnisse aus und ermöglichen es den Blattspreiten, volles Oberlicht zu gewinnen. So ergibt sich die Stellung der Laubblätter als ausgesprochene Anpassung an die Bedürfnisse der Beleuchtung.

Während die auf Lichtgenuss angewiesenen Laubblätter in ihrer Stellung im allgemeinen den Anordnungen der Hauptreihe folgen, fügen sich ihr meist nicht die Blattgebilde der Blüten und der Blütenstände, denen andere Aufgaben obliegen. Doch auch im Bereich rein vegetativer Anlagen kommen andere Stellungsverhältnisse vor, wie das im besonderen GOEBEL (12 c) für das Verhalten dorsiventraler Sprosse nachgewiesen hat. Die dorsiventralen Sprosse sind häufig an ihrer Spitze bauchwärts eingerollt und tragen die Blätter meist abwechselnd, entweder auf ihrer Rückenfläche oder, der Rückenfläche genähert, auf ihren Flanken. Auffällige Beispiele liefern die auf dem Boden kriechenden Stämme vieler Farne, oder die blütentragenden Sprosse eines Vergißmeinnicht (Myosotis). Die aufeinander folgenden Deckblätter lassen sich in solchen Fällen höchstens durch eine Zickzacklinie verbinden. So läßt sich auf Grund des vorliegenden Beobachtungsmaterials annehmen, daß die reguläre Blattstellung eine Anpassung an bestimmte Lebensbedingungen vorstellt, somit auch andere Anordnungen auftreten müssen, wo abweichende Lebensverhältnisse vorliegen.

Metamorphose der Laubblätter. Von den typischen Laubblattformen weichen schon solche Blätter auffällig ab, deren Spreite nicht mit ihrem Rande, sondern annähernd in ihrer Mitte am Stiele befestigt ist. Man bezeichnet sie als schildförmig. Unsere Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus) kann als Beispiel (Fig. 187) dienen. Solche Blätter kommen zu stande, indem die junge Spreite nicht nur in der Verlängerung des Stiels, sondern auch in entgegengesetzter Richtung an ihm vorbeiwächst. Ähnliche Blattbildungen mögen der Ausgangspunkt gewesen sein für weit stärker veränderte Laubblätter, die eine Höhlung einschließen und auf Tierfang eingerichtet sind. So zeigt die nach einem Gewächshausexemplar hier dargestellte Nepenthes robusta (Fig. 45) Blätter, die in kannenförmige, mit Deckel versehene Gebilde auslaufen. An den jüngeren Kannen ist der Deckel geschlossen, an älteren geöffnet. Die Kannen gehen, wie GOEBEL nachgewiesen hat, aus der entsprechend umgeformten Blattspreite hervor; der Blattgrund verbreitet sich zugleich spreitenförmig; der Blattstiel, der beide trennt, kann als Ranke fungieren. Ähnlich gestaltete hohle Gebilde werden, durch entsprechende Umbildung der Fiederblättchen, an den unter Wasser tauchenden Blättern von Utricularia ausgebildet. Die Spreite jener Blättchen wächst zu einem krugförmigen Gebilde aus, das an seinem oberen Rande bis auf eine enge Mündung zusammenschließt. So werden Blasen erzeugt vom Aussehen der Fig. 46, die, nach Fischreusenart gebaut, kleinen

Fig. 45. Nepenthes robusta. Gewächshauspflanze. 1/9 nat. Gr.

Wassertierchen wohl den Eintritt, nicht aber den Austritt gestatten. — Ist in solchen Gebilden gewissermaßen eine progressive Veränderung des Laubblattes gegeben, so tritt uns in anderen Fällen die Veränderung als Reduktion entgegen. So ist es bei der Erzeugung von Blattausläufern bei

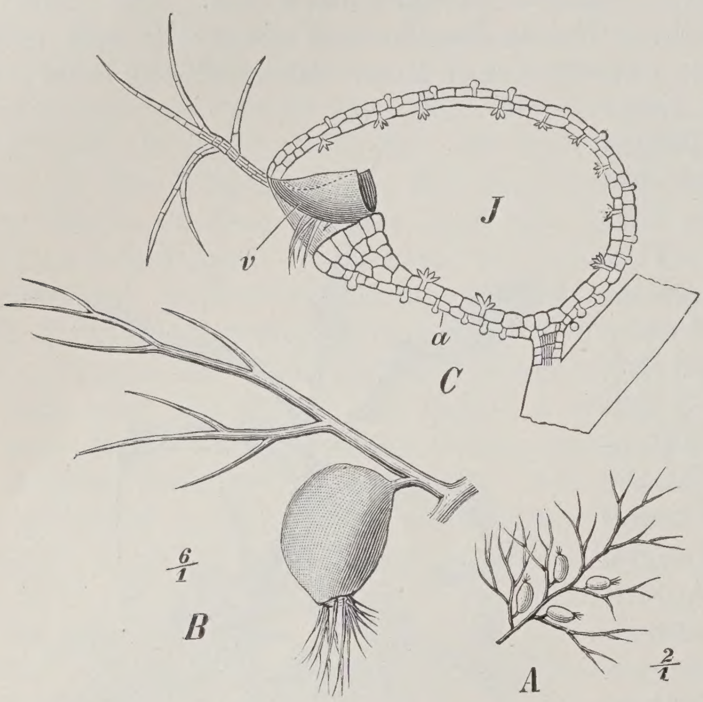


Fig. 46. Utricularia vulgaris. Bei *A* ein Blattstück mit mehreren Blasen. Vergr. 2. Bei *B* ein Fiederteil des Blattes mit Blase. Vergr. 6. Bei *C* eine Blase im Längsschnitt. Vergr. ca. 28. *C* nach GOEBEL. In *Cv* Klappe, *a* Blasenwandung.

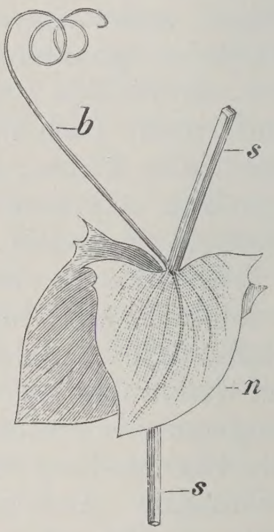


Fig. 48. Stengelstück der Ranken-Platterbse (Lathyrus Aphaca). *s* Stengel, *n* Nebenblätter, *b* Blattranke. 1/2 nat. Gr.

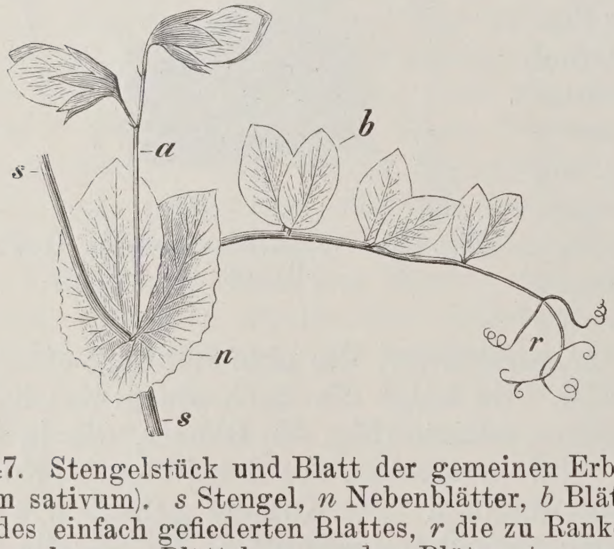


Fig. 47. Stengelstück und Blatt der gemeinen Erbse (Pisum sativum). *s* Stengel, *n* Nebenblätter, *b* Blättchen des einfach gefiederten Blattes, *r* die zu Ranken ausgewachsenen Blättchen, *a* der Blüten tragende Achselsproß. 1/2 nat. Gr.

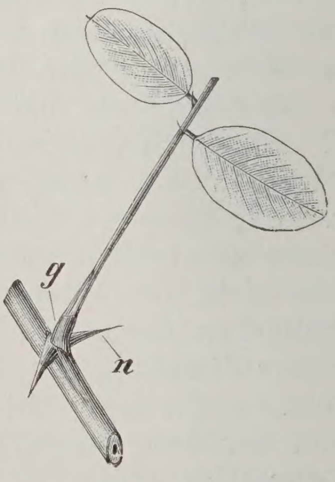


Fig. 49. Stammstück von Robinia Pseudacacia mit dem unteren Teile eines gefiederten Blattes und den zugehörigen, in zwei Dornen verwandelten Nebenblättern *n*. *g* Gelenkpolster. 1/2 nat. Gr.

manchen Farnen. Ganz wie die zu Ausläufern umgestalteten Sprosse, sind auch die Blattausläufer der Farne langgestreckt und haben die Aufgabe, eine an ihrem Ende sich bildende Knospe möglichst weit von der Mutterpflanze zu entfernen. Daher ein so sich verhaltendes amerikanisches Farnkraut

(Camptosorus rhizophyllus) als „Blattwanderer“ bezeichnet wird. Meist verlieren solche Blattausläufer ihre Fiederblättchen und erscheinen auf den Blattstiel beschränkt. Besonders eigenartig wird die Erscheinung dann, wenn, wie bei Asplenium obtusifolium oder bei Asplenium Mannii, die terminal an einem solchen Blattausläufer erzeugte Knospe das erste Blatt wieder als Ausläufer ausbildet und der Vorgang sich weiter wiederholt, so daß Blattausläufersympodien entstehen. Verhältnismäßig häufig ist in anderen Fällen die Umbildung der ganzen Blattspreite oder ihrer Teile zu Ranken (Blattranken). Die Fig. 47 zeigt uns eine solche Umbildung, und zwar in derjenigen Form, die bei Papilionaceen verbreitet ist. Die oberen Blättchenpaare des einfach gefiederten Blattes haben sich in dem dargestellten Falle in fadenförmige Ranken verwandelt, welche die Fähigkeit besitzen, Stützen zu umschlingen. Dieses Beispiel ist der gemeinen Erbse entnommen, bei welcher ein Teil der Blättchen am Blatte noch seine ursprüngliche Ausbildung behält, während das Bild (Fig. 48) der Rankenplatterbse (Lathyrus Aphaca) uns das ganze Blatt zu einer Ranke reduziert, und die Lamina des Oberblattes ganz durch die Nebenblätter (*n*) vertreten zeigt. Der Vergleich der Küchenerbse mit der Rankenplatterbse ist phylogenetisch lehrreich, indem er uns gewissermaßen den Weg zeigt, den der Reduktionsvorgang der Blattspreite durchschritt, um jenen Grad zu erreichen, wie er bei der Rankenplatterbse gegeben ist. Andererseits klären uns beide Fälle, mit Ampelopsis (Fig. 29) verglichen, über den morphologischen Unterschied von Sproßranken und Blattranken auf und zeigen so deutlich den Wert der Ergebnisse, zu welchen die vergleichend morphologische Forschung führt. — Bei der Rankenplatterbse treten die Nebenblätter in die Funktionen der Blattspreite ein, in anderen Fällen übernimmt der Blattstiel diese Aufgaben. So ist es bei vielen neuholländischen Akazien (bei *7*, *8* und *9* Fig. 54). Der Blattstiel zeigt sich dann meist in senkrechter Ebene abgeflacht, durchaus vom Aussehen einer lanzettförmigen Blattspreite. Abgesehen von seiner Stellung, gleicht ein solches Gebilde, das Phyllodium, durchaus einem Phyllocladium. Von einem Phyllocladium ist es aber morphologisch verschieden, denn es stellt einen metamorphosierten Blattstiel, jenes einen metamorphosierten Sproß vor. Demgemäß nimmt es auch nicht wie ein Phyllocladium eine Blattachsel ein. Wie wir in Dornen verwandelte Sprosse kennen gelernt haben (Fig. 30), so gibt es endlich auch Blattdornen. Beim Sauerdorn (Berberis vulgaris) wird das ganze Blatt an den Hauptsprossen in einen oder in mehrere Dornen, meist in drei umgestaltet und man sieht die mit entwickelten Laubblättern versehenen Seitentriebe in den Achseln dieser Dornen stehen. Bei der Robinie (Robinia Pseudacacia) entwickeln sich die beiden Nebenblätter zu Dornen, das Oberblatt besteht als Laubblatt fort (Fig. 49).

Die Wurzel.

Ausbildung der Wurzel. Die dritte Grundform des kormophyten Pflanzenkörpers zeigt in ihrer typischen Ausbildung als Bodenwurzel weniger ausgeprägte Gestaltungsunterschiede bei den verschiedenen Pflanzen. Es hängt das mit den gleichmäßigen Bedingungen zusammen, denen die Wurzeln im Boden begegnen. Immerhin machen sich solche Unterschiede je nach dem Standorte geltend, dem eine bestimmte Pflanze angepaßt ist ([12d]). Der Bodenwurzel fällt als wichtigste Funktion die Aufgabe zu, das Nährwasser aus dem Boden aufzunehmen. Zugleich hat sie die Befestigung

der Pflanze im Boden zu besorgen. Außerdem dient sie vielfach als Reservestoffbehälter der Speicherung von Assimilaten. Je nachdem die eine oder die andere dieser Aufgaben stärker oder schwächer ausgeprägt wird, wechselt der Habitus der Bodenwurzel. Die in Wasser und Schlamm wachsenden Wurzeln sind gestreckter, schwach verzweigt, sie pflegen mit besonderen Durchlüftungseinrichtungen ausgestattet zu sein, die zu lokalen Anschwellungen führen. Eine tiefgehende Formveränderung erfahren sie sonst aber nicht. Eine weitergehende Metamorphose der Wurzeln kommt hauptsächlich nur bei ihren Luftformen, das heißt bei den Luftwurzeln zur Ausbildung.

Der von der Wurzelhaube bedeckte Vegetationskegel und der Mangel an Blattbildungen charakterisieren die Wurzel und gestatten es meist leicht, sie von unterirdischen Sprossen zu unterscheiden. Die Wurzelhaube oder Kalyptra gewährt dem Vegetationskegel der Wurzel denjenigen Schutz, den dem Vegetationskegel des Stammes die Blattanlagen bringen. Von dem Vorhandensein der Wurzelhaube kann man sich meist erst auf medianen Längsschnitten durch die Wurzelspitze überzeugen; doch gibt es auch Fälle, wo man die Wurzelhaube schon an der unversehrten Wurzel als eine das Ende derselben deckende Kappe unterscheiden kann. Die besonders auffälligen Kappen an den Enden der in Wasser tauchenden Wurzeln unserer Wasserlinsen (Lemna-Arten) gehören hingegen ihrem Ursprung nach nicht zur Wurzel, gehen vielmehr aus einer die Wurzel bei ihrer Anlage umgebenden Hülle hervor, werden demgemäß als Wurzeltasche unterschieden. Wurzeln ohne Wurzelhaube sind eine sehr seltene Erscheinung, so bei den eben erwähnten Wasserlinsen, bei welchen die Wurzeltasche die Funktionen der Wurzelhaube übernahm. So ist auch ohne Wurzelhaube die rasch absterbende Wurzel des uns schon bekannten, parasitisch lebenden Teufelszwirns (S. 21). Für Wurzeln bezeichnend sind auch die Wurzelhaare (*r* in Fig. 53), welche den meisten unter ihnen zukommen, doch auch fehlen können, so vielfach bei den Nadelhölzern. Die Wurzelhaare werden erst in einiger Entfernung von der Wurzelspitze erzeugt und haben nur kurze Lebensdauer. In dem Maße als neue Wurzelhaare hinzukommen, sterben die älteren ab, so daß nur ein begrenzter Teil der jungen Wurzel sich von ihnen bedeckt zeigt.

Verzweigung der Wurzel. Wie wir Sprosse kennen gelernt haben (Fig. 18), die sich durch Gabelung ihres Vegetationspunktes verzweigen, so gibt es auch Wurzeln mit gleicher Verzweigungsart. Im wesentlichen ist sie, so wie die Gabelung der Sprosse (S. 15), auf die Lycopodiaceen beschränkt. Die übrigen Wurzeln verzweigen sich durch Bildung von Seitenwurzeln oder Nebenwurzeln in akropetaler Reihenfolge. Die jüngsten Seitenwurzeln treten aber aus ihrer Mutterwurzel in wesentlich größerer Entfernung vom Vegetationspunkt hervor (Fig. 53 *sw*), als es bei den Seitensprossen im Verhältnis zu dem Vegetationspunkt ihres Muttersprosses der Fall ist. Der Ursprung der Seitenwurzeln ist endogen; sie müssen die äußeren Teile der Mutterwurzel durchbrechen, um nach außen zu gelangen. Demgemäß sind sie nicht selten an der Austrittsstelle von dem vorgestülpten Rande der durchbrochenen Teile der Mutterwurzel, wie von einem Kragen, umgeben. Die Seitenwurzeln bilden gerade Reihen an der Mutterwurzel (Fig. 53); diese Anordnung wird durch den inneren Bau der letzteren bedingt. Adventivwurzeln können, ganz wie Adventivsprosse, an beliebigen Orten, nicht nur an älteren Wurzelteilen, sondern auch an allen anderen Stellen des Pflanzenkörpers, angelegt werden. Über ihre Anlage entscheidet das vorhandene Bedürfnis. Besonders zahlreich finden sie sich an der Unter-

seite der im Boden wachsenden Rhizome (Fig. 23 *w*) ein. Ein bevorzugter Ort ihrer Entstehung, soweit die äußeren Bedingungen es zulassen, sind auch die Stengelknoten. In feuchten Boden gesteckte, abgeschnittene Sprosse oder Sproßstücke haben alsbald Adventivwurzeln an ihrer Basis erzeugt und solche brechen auch aus der Basis mancher in Boden gesteckter Blätter, so der Begonienblätter, hervor. Der Ursprung der Adventivwurzeln ist wie jener fast aller Wurzeln endogen. Wie es schlafende Knospen gibt, so existieren auch schlafende Wurzelanlagen. Im besonderen sind solche ruhende Anlagen von Adventivwurzeln an jedem Weidenzweige vorhanden und ihre Weiterentwicklung läßt sich durch Feuchtigkeit und Verdunkelung leicht anregen.

Adventivsprosse an Wurzeln pflegen meist erst in größerer Entfernung von deren Scheitel zu entstehen. Bei den Natterzungen (Ophioglossen), deren vegetative Vermehrung ganz auf der Bildung von Wurzelsprossen beruht,

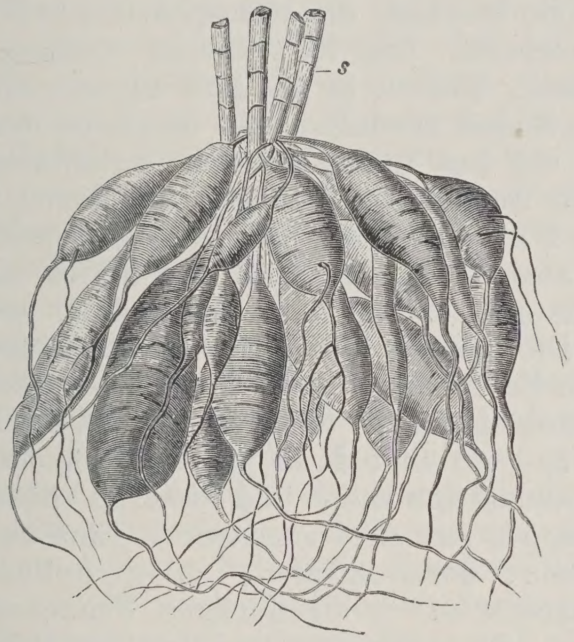


Fig. 50. Wurzelknollen der Georgine (Dahlia variabilis). Bei *s* die unteren Teile der abgeschnittenen Stengel. 1/5 nat. Gr.

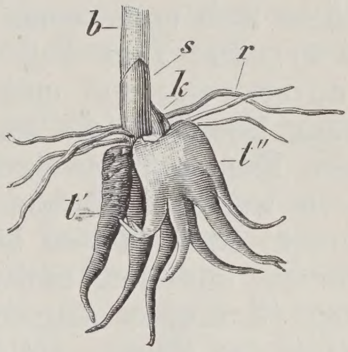


Fig. 51. Orchis latifolia. *t'* die alte Wurzelknolle, *t''* die junge Wurzelknolle; *b* Blütenspross, *k* Knospe, an der die neue Knolle entstand, *s* das Niederblatt, in dessen Achsel die Knospe *k* entstand, *r* gewöhnliche Adventivwurzeln. 1/2 nat. Gr.

rücken die Sproßanlagen fast bis auf die Wurzelspitze. Wie es endlich terminale Blätter an Sproßvegetationskegeln, terminale Sprosse an Farnblättern gibt, so kann auch in bestimmten Fällen (einigen Asplenium- und Platycerium-Arten) ein Sproß direkt einen Wurzelvegetationskegel fortsetzen ([12e]).

Gestalt der Bodenwurzel. Für die übliche Unterscheidung der Bodenwurzeln ist ihre Gestalt, ihre Stärke, sowie ihre Verzweigungsart maßgebend. Eine Wurzel, die den Hauptstamm nach unten fortsetzt, heißt Hauptwurzel oder Pfahlwurzel; die anderen Wurzeln sind dann, im Verhältnis zu ihr, Seitenwurzeln oder Nebenwurzeln bestimmter Ordnung. Den Gymnospermen und sehr vielen Dikotyledonen kommt eine Hauptwurzel zu, während sie den Monokotylen für gewöhnlich fehlt. Die Bewurzelung der meisten Monokotyledonen, aber auch zahlreicher dikotyler Stauden, beruht vorwiegend auf Adventivwurzeln, die in großer Zahl den unteren im Boden befindlichen Stammteilen oder den Wurzelstöcken (S. 18) entspringen. Die als Nährstoffbehälter fungierenden Bodenwurzeln sind rüben- oder knollenförmig angeschwollen (Fig. 50). Die Wurzelknollen ähneln den

Stammknollen, lassen sich aber an ihrer Wurzelhaube, dem Fehlen von Blattanlagen und ihrem inneren Bau von ihnen unterscheiden.

Einen eigenen morphologischen Aufbau zeigen die Knollen der Orchideen. Sie werden der Hauptmasse nach aus fleischig angeschwollenen, nicht voneinander gesonderten Wurzeln gebildet, oben schließen sie aber mit einer Stammknospe ab. Diese Knollen sind einfach oder in ihren unteren Teilen handförmig geteilt (Fig. 51). Man findet miteinander verbunden eine ältere (*t'*) und eine jüngere Knolle (*t''*). Die ältere hat bereits einen Blütensproß (*b*) erzeugt und ist im Schrumpfen begriffen. Die jüngere entstand an der Basis dieses Sprosses in der Achsel eines Niederblattes (*s*) und bildete die Adventivwurzeln, die miteinander vereinigt blieben und anschwollen, um den Knollenkörper zu erzeugen. Wurzeln von gewohntem Bau entspringen über den Knollen aus der Stengelbasis.

Metamorphose der Wurzeln. Einen von den Bodenwurzeln abweichenden Bau zeigen die Luftwurzeln der, oft in bedeutender Höhe, auf anderen Pflanzen wachsenden tropischen Epiphyten ([13]). Diese Luftwurzeln sind bei Orchideen und manchen Aroideen mit einer schwammigen Hülle, dem Velamen radicum, versehen, die sie befähigt, die atmosphärischen Niederschläge aufzunehmen und aufzuspeichern. Die Luftwurzeln wachsen zum Teil gerade abwärts, werden sehr lang, bleiben in der Luft unverzweigt und verzweigen sich erst, wenn sie den Boden erreichen; sie fungieren dann als Nährwurzeln; zum Teil fliehen sie das Licht, bleiben verhältnismäßig kurz, unverzweigt und umklammern fremde Gegenstände, mit denen sie in Berührung kommen; sie sind dann Haftwurzeln. Bei manchen Orchideen, Aroideen, Farnen verzweigen sich aber die Haftwurzeln und bilden ein Geflecht, in welchem Humus sich sammelt; in diesen wachsen dann aus den Haftwurzeln Nährwurzeln hinein. Die frei in die Luft abwärts hängenden Nährwurzeln enthalten meist grünen Farbstoff in ihrer Rinde. — Bei Orchideen der Gattungen Angrecum, Taeniophyllum fällt den Luftwurzeln die Ernährung der Pflanze vollständig zu; sie sind dann meist abgeflacht, entsprechend grün gefärbt, ohne schwammartige Hülle und ersetzen vollständig die Blätter, die zu nicht grünen Schuppen reduziert erscheinen. Eine ähnliche Aufgabe fällt auch den abgeflachten, dorsiventralen, chlorophyllhaltigen Wurzeln der tropischen Podostemonaceen zu ([14]), eigenartigen Phanerogamen von z. T. lebermoosartigem Aussehen, die im System meist in der Nähe der Saxifragaceen untergebracht werden. — Ausschließlich Haftwurzeln besitzen viele Bromeliaceen, deren Blätter nicht allein die Arbeit der Assimilation, sondern auch die gesamte Wasseraufnahme besorgen. Alle Luftwurzeln der Epiphyten sind ihrem Ursprung nach Adventivwurzeln.

Die zahlreichen Adventivwurzeln, die dichtgedrängt die Stämme baumartiger Farne bedecken, werden nach dem Absterben sehr hart und dienen dann als Schutzorgane. Bei einigen Palmen (Acanthorrhiza, Iriartea) bilden sich die Adventivwurzeln in der unteren Stammregion zu Dornen, also Wurzeldornen um. Eine besondere Ausbildung erlangen die Stelzwurzeln gewisser tropischer Gewächse, der Pandanus-Arten und der sumpfbewohnten Mangrove-Bäume. Die Pflanzen entsenden aus ihrem Stamme dicke Adventivwurzeln, die schräg abwärts in den Boden wachsen und auf welchem der Stamm schließlich wie auf Stelzen steht. Eigenartige Stützwurzeln treiben auch die Ficus-Arten, die indischen Banyan-Bäume, aus der Unterseite ihrer Äste und ruhen dann auf diesen Wurzeln wie auf Säulen. — Gewissen Mangrove-Bäumen kommen auch besondere für Atmung eingerichtete Seitenwurzeln, die Atemwurzeln, zu, die aufwärts aus dem Schlamm hinauswachsen, meist dort auch mit besonderen Atemöffnungen versehen sind. Kräftigen Spargeln ähnlich umgeben solche Atemwurzeln die betreffenden Mangrove-Bäume und sorgen für den nötigen Gasaustausch des im Schlamm steckenden Wurzelsystems. (Vergl. Fig. 209.)

Reduktion der Wurzel. Im allgemeinen pflegt ein bestimmtes Verhältnis zwischen der Stärke der Belaubung an den Sprossen und der Ausbildung

des Wurzelsystems zu bestehen. Daher es auch begreiflich ist, daß bei Humusbewohnern und Schmarotzern, deren Blattbildung mehr oder weniger vollständig unterdrückt ist, auch die Wurzeln eine entsprechende Reduktion erfahren haben. An den Wurzeln der Schmarotzer pflegen besondere Saugauswüchse (Saugorgane) oder Haustorien ausgebildet zu werden. So an den Wurzeln der grünen Halbschmarotzer wie Euphrasia, Odontites, Thesium, die sich mit scheiben- oder warzenförmigen Auswüchsen an den Wurzeln ihrer Nährpflanzen festsaugen. In extremer Ausbildung kann die Entwicklung einer Wurzel ganz unterbleiben und es werden nur Haustorien erzeugt, welche in die Nährpflanze eindringen. So bei Cuscuta (Fig. 199 *H*), deren Vertreter als Teufelszwirn, als Klee- und Flachsseide bezeichnet werden. Die Haustorien der Rafflesiaceen durchsetzen in Form gestreckter Zellfäden den Körper ihrer Nährpflanze und aus ihnen regeneriert sich der Parasit. So kommt es, daß die mächtigen Blüten der Rafflesia Arnoldi unmittelbar aus Cissus-Wurzeln hervorbrechen. In manchen Fällen sind die Wurzeln verschwunden und andere Teile des Pflanzenkörpers in ihre Aufgabe getreten, wir erwähnten bereits, daß bei der Orchidee Coralliorrhiza innata (Fig. 24) das Rhizom diese Funktion übernommen hat. Andererseits haben verschiedene Vertreter der Wasserpflanzen, wie Salvinia, die wurzellose Wasserlinse (Wolffia arrhiza), Utricularia, Ceratophyllum, ihre Wurzeln ganz eingebüßt, weil sie ihrer nicht mehr bedürfen.

Emergenzen. Unter dieser Bezeichnung, beziehungsweise jener von Haargebilden oder Trichomen, sind mannigfache Auswüchse des Pflanzenkörpers zusammengefaßt worden, die nicht den Anspruch erheben können, homolog zu sein. Der Bezeichnung Emergenzen kommt somit ein phylogenetischer Wert nicht zu. Sie vereinigt die heterogensten Gebilde, die als solche sowohl dem Thallus wie dem Cormus angehören können. So hat man diesen Gebilden die Rhizoide zugezählt, die als feine Fäden den Thallus vieler Thallophyten und auch den Cormus kormophyter Bryophyten am Substrat befestigen; nicht minder die massigeren Haftorgane, welche derselben Aufgabe bei vielen braunen Algen (Fucaceen und Laminariaceen) dienen, so wie auch die Behälter der ungeschlechtlichen und geschlechtlichen Fortpflanzungszellen (Sporangien und Geschlechtsorgane), die als mikroskopisch kleine Gebilde vom Körper der höheren Kryptogamen erzeugt werden. Zu den Emergenzen gehören, dieser Begriffsbestimmung nach, auch die Haare, Stacheln, Drüsen, welche der Körper der höher organisierten Pflanzen an seiner Oberfläche trägt, sowie die zuvor behandelten Haustorien. Hier wären endlich auch die „Hapteren“ anzuführen, die eigenartigen Haftorgane, welche den Nährwurzeln der schon genannten Podostemonaceen zukommen. Mit solchen zunächst kegelförmigen, dann sich abflachenden und in Lappen am Substrat ausbreitenden Gebilden befestigen sich jene Nährwurzeln an Steinen in stark fließenden Gewässern. Auch die Sprosse der Podostemonaceen entspringen diesen Wurzeln. Die Hapteren der Podostemonaceen sind dadurch besonders lehrreich, daß sie zeigen, wie es ansehnlich ausgestaltete Gebilde am phanerogamen Pflanzenkörper geben kann, die weder vom Sproß noch von der Wurzel abzuleiten sind. Tatsächlich liegt kein Grund vor, dass nicht auch Auswüchse des Pflanzenkörpers sich besonderen Aufgaben hätten anpassen sollen(15).

Ontogenie der Pflanzen.

Wie wir die phylogenetische Entwicklung des Pflanzenreichs von den einfachsten Gestalten zu den komplizierteren haben fortschreiten sehen, so

macht auch jede Pflanze in ihrer Ontogenie einen ähnlichen Entwicklungsgang durch. Das Studium der ontogenetischen Entwicklungsvorgänge wird als Embryologie bezeichnet. Die junge Anlage zum neuen Pflanzenkörper heißt Embryo oder Keim, ihre weitere Entfaltung die Keimung. Die embryonale Entwicklung hebt mit mikroskopisch kleinen, im allgemeinen kugeligen Gestalten an. Eine solche Gestalt kann bei dem niedrigsten Organismus zugleich den Endpunkt der Entwicklung bilden, so bei der in Fig. 1 (S. 8) dargestellten Gloeocapsa polydermatica; oder die Entwicklung der Anlage schreitet fort und führt zur Ausbildung fadenförmiger, bandförmiger oder cylindrischer Pflanzenkörper. Soll der betreffende Pflanzenkörper einen Vegetationspunkt erhalten, so verharrt ein Teil der Keimsubstanz im embryonalen Zustand, und stellt diesen Vegetationspunkt dar. Die Entwicklung wird dann von dieser embryonalen Substanz des Vegetationspunktes fortgeführt. Bei den höher organisierten Pflanzen erlangen die am Vegetationspunkt angelegten Gebilde erst allmählich denjenigen Grad der Ausgestaltung, wie sie der entwickelten Pflanze zukommt. Die Pflanze „erstarkt“. Erst wenn der Höhepunkt der Entwicklung erreicht ist, werden bestimmte Teile der embryonalen Substanz der Vegetationspunkte zur Erzeugung neuer Keimanlagen verwendet. Dieser Höhepunkt kann bei kormophyten Pflanzen meist erst durch Achsen höherer Ordnung erreicht werden. — Die aus Keimanlagen hervorgehenden, aufeinander folgenden Generationen einer Pflanze sind entweder alle einander gleich, oder sie sind verschieden. Im ersten Fall liegt Entwicklung ohne Generationswechsel, im zweiten mit Generationswechsel vor. Im Generationswechsel gleicht schon die dritte, oder erst eine nächstfolgende Generation der ersten. Bei den Kormophyten ist es bereits die dritte. Eine Generation im Generationswechsel pflegt geschlechtlich differenziert zu sein, d. h. die von ihr erzeugten reproduktiven Gebilde werden erst nach Verschmelzung mit anderen entwicklungsfähig. Es ist das der Vorgang der Befruchtung (vgl. S. 76); ihr Produkt ist das befruchtete Ei. Die ungeschlechtlichen Generationen erzeugen hingegen reproduktive Gebilde, die ohne Befruchtung sich weiter entwickeln, und die man Sporen nennt. Der Generationswechsel bei den Thallophyten, so im besonderen bei den Pilzen, wird oft durch Einschaltung anderer Fortpflanzungsorgane, deren Bildung auch unterbleiben kann, kompliziert. Bei den Kormophyten wechselt, wie wir später sehen sollen, ganz allgemein eine geschlechtliche Generation mit einer ungeschlechtlichen ab. In allen Fällen, wo Generationswechsel vorliegt, ist somit mehr als eine Generation notwendig, um den Entwicklungskreis der Species abzuschließen. Zwei oder mehr Generationen gehören dann zu dem Begriff einer Art. Diese Generationen können getrennt voneinander ein völlig unabhängiges Leben führen, oder auch auf einem einzigen Lebewesen miteinander verbunden sein. Letzteres liegt bei den Moosen vor, wo die sporenbildende Generation auf der geschlechtlichen lebt,

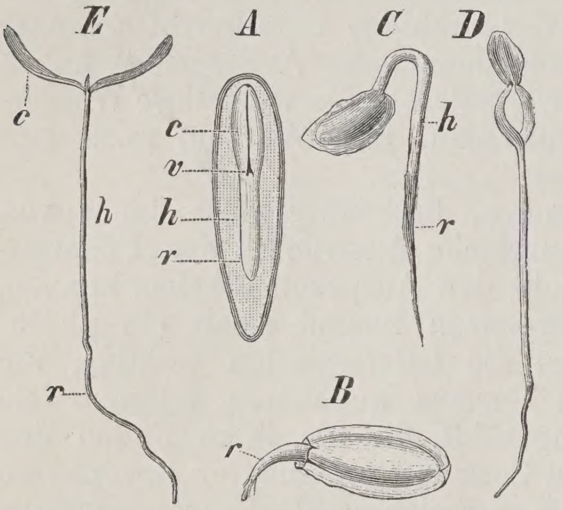


Fig. 52. Thuja occidentalis. Bei *A* medianer Längsschnitt durch den reifen Samen, bei *B* bis *E* Keimungsstadien. *h* Hypokotyl, *c* Kotyledonen, *r* Radicula, *v* Stammvegetationskegel. *A* 5 mal, *B* und *C* 2 mal vergr. *D* und *E* nat. Gr.

auch bei den Phanerogamen, wo umgekehrt die geschlechtliche Generation innerhalb der ungeschlechtlichen eingeschlossen bleibt.

Der als Keimung bezeichnete Abschnitt in der Entwicklung der Pflanze ist bei den Phanerogamen in bestimmter Weise abgegrenzt, weil man diese Bezeichnung hier auf die Entfaltung des im Samen bereits angelegten Keimes beschränkt. Zu der Zeit, wo dieser im Samen eingeschlossene Keim von seiner Mutterpflanze abgeworfen wird, weist er meist schon jene Gliederung auf, wie sie dem kormophyten Pflanzenkörper zukommt. Er wird geschützt durch die Samenschale, die ihn zugleich befähigt, eine längere Ruhezeit durchzumachen. Reichlich aufgespeicherte Nährstoffe in ihm selbst oder den ihn umgebenden Samenteilen, haben für seine Ernährung während der Keimung zu sorgen. Man hat die einzelnen Glieder des phanerogamen Keimes in besonderer Weise bezeichnet. Die Fig. 52 zeigt bei *A* den medianen Längsschnitt durch einen reifen Samen des Lebensbaumes (Thuja occidentalis), bei *B* einen im Beginn der Keimung befindlichen Samen, bei *C* einen etwas vorgerückteren Keimungszustand, bei *D* die Abstreifung der Samenschale, bei *E* endlich die entfaltete Keimpflanze. An diesem Keime wird nun unterschieden, sein Stammteil als Hypokotyl (*h*), seine ersten vom Hypokotyl getragenen Blätter als Keimblätter oder Kotyledonen (*c*), seine Wurzel als Würzelchen oder Radicula (*r*). Aus der Radicula, die sich zur Haupt- oder Pfahlwurzel des aus dem Keim hervorgehenden Lebensbaumes entwickeln wird, brechen auf späteren Entwicklungsstadien die ersten Seitenwurzeln hervor. Der Stammvegetationskegel des Keimes (*v* in *A*) hat auf dem Keimungsstadium *C* bereits neue Teile angelegt, die sich aber noch nicht gestreckt haben und daher zwischen den Kotyledonen verborgen sind. — Die Fig. 53 stellt eine Keimpflanze der Weissbuche (Carpinus Betulus) vor. Auch in dieser Figur sind das Hypokotyl mit *h*, die beiden Kotyledonen mit *c*, die zur Pfahlwurzel sich entwickelnde Radicula mit *hw* bezeichnet. Diese Keimpflanze ist weiter, als die zuvor betrachtete des Lebensbaumes, in ihrer Entwicklung fortgeschritten und zeigt ein vom Vegetationskegel des Stammes bereits erzeugtes Internodium, welches das entfaltete Laubblatt *l* trägt, während das nächst höhere Internodium noch nicht gestreckt ist und sein Laubblatt *l'* noch nicht entfaltet. Aus der Hauptwurzel sind bereits Seitenwurzeln (*sw*) in größerer Anzahl hervorgetreten.

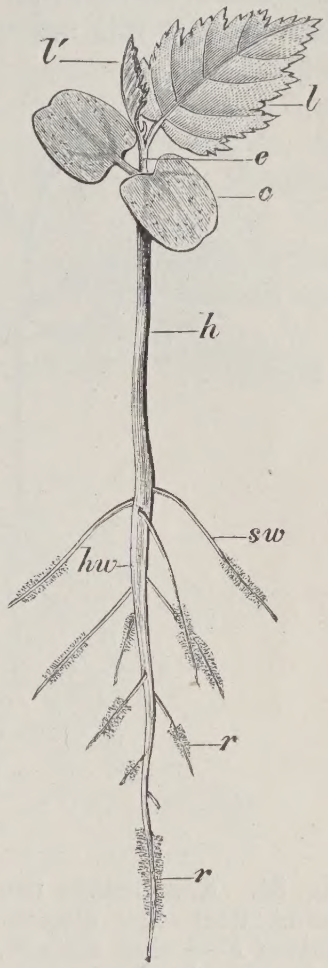


Fig. 53. Keimpflanze von Carpinus Betulus. *h* Hypokotyl, *c* Kotyledonen, *hw* Hauptwurzel, *sw* Seitenwurzeln, *r* Wurzelhaare, *e* Epikotyl, *l* und *l'* Laubblätter. Nat. Gr.

Eine höher organisierte Pflanze, die mit tiefsten Bildungsstufen ihre Entwicklung beginnt und erst allmählich zu höherer Gliederung gelangt, wiederholt so in ihrer Ontogenese gewissermaßen ihre phylogenetische Entstehung. Im einzelnen ist freilich vieles in dieser Ontogenese verändert, vieles beseitigt worden, so daß sie uns nur noch ein sehr unvollkommenes Bild der Vergangenheit entrollt. Dieses Bild bleibt für uns immerhin noch wertvoll genug, um neben dem Vergleich die wichtigste Quelle unserer morphologischen Erkenntnis zu bilden. Was von der Entwicklung aus der Keimanlage

gilt, trifft bei der fertigen Pflanze im wesentlichen auch für ihre Fortentwicklung aus den Vegetationspunkten zu. Daher besitzt auch diese eine hohe Bedeutung für Feststellung von Homologien. Je zeitiger sich ein Merkmal in der Keimentwicklung, je früher es sich bei der älteren Pflanze am Vegetationspunkte einstellt, um so größer ist im allgemeinen sein Wert für die Beurteilung entfernterer verwandtschaftlicher Beziehungen unter den Gewächsen; je später es in der Keimentwicklung, je weiter es bei der älteren Pflanze von den Vegetationspunkten in die Erscheinung tritt, um so geringer wird sein allgemeiner Wert und um so größer seine besondere Bedeutung für die Charakterisierung der Gattung oder Art. Die Nadelhölzer mit schuppenförmig ausgebildeten, angedrückten Blättern, wie die Lebensbäume (Thuja, Biota), verschiedene Wacholder (Juniperus) und andere mehr, müssen wir, den aus früheren Erdperioden erhaltenen paläophytischen Überresten nach, von nadelblatttragenden Nadelhölzern ableiten. Demgemäß finden wir an den Keimpflanzen der schuppenblatttragenden Koniferen typische Nadelblätter, und erst in einem bestimmten Alter treten an dieser sogenannten Jugendform ([16]) der Pflanze die Schuppenblätter auf. Unser Wacholder behält die Nadelblätter zeitlebens. Noch instruktiver sind die Jugendformen der mit Phyllodien versehenen neuholländischen Akazien. Wir haben eine solche Akazie (Acacia pycnantha) früher schon (S. 37) kennen gelernt. Wir nahmen an, daß die Phyllodien umgebildete Blattstiele seien, die sich spreitenartig verbreiterten, während die Lamina schwand. Eine keimende Acacia pycnantha (Fig. 54) liefert in ihrem Verhalten sichtbare Anhaltspunkte für diese Annahme. Die ersten Laubblätter der Keimpflanze, welche auf die Keimblätter folgen, sind einfach gefiedert, die höher stehenden doppelt gefiedert. Dann folgen Blätter, die noch eine gefiederte, aber doch bereits etwas reduzierte Spreite aufweisen, außerdem aber einen Blattstiel, der in senkrechter Richtung schon abgeflacht ist. Endlich werden Blätter erzeugt, die nur einen spreitenartig erweiterten Blattstiel besitzen. Da viele andere Arten innerhalb der Gattung Acacia mit doppelt gefiederten Blättern versehen sind, so liegt der phylogenetische Schluß nahe, daß die neuholländischen Akazien in relativ recenter Zeit ihre zarten Spreiten einbüßten und durch die viel resistenteren, den Anforderungen des australischen Klimas besser entsprechenden Phyllodien ersetzt haben. Daher stellt sich dieses Merkmal jedenfalls so spät in der ontogenetischen Entwicklung ein. — Überhaupt läßt sich oft nachweisen, daß bei Pflanzen

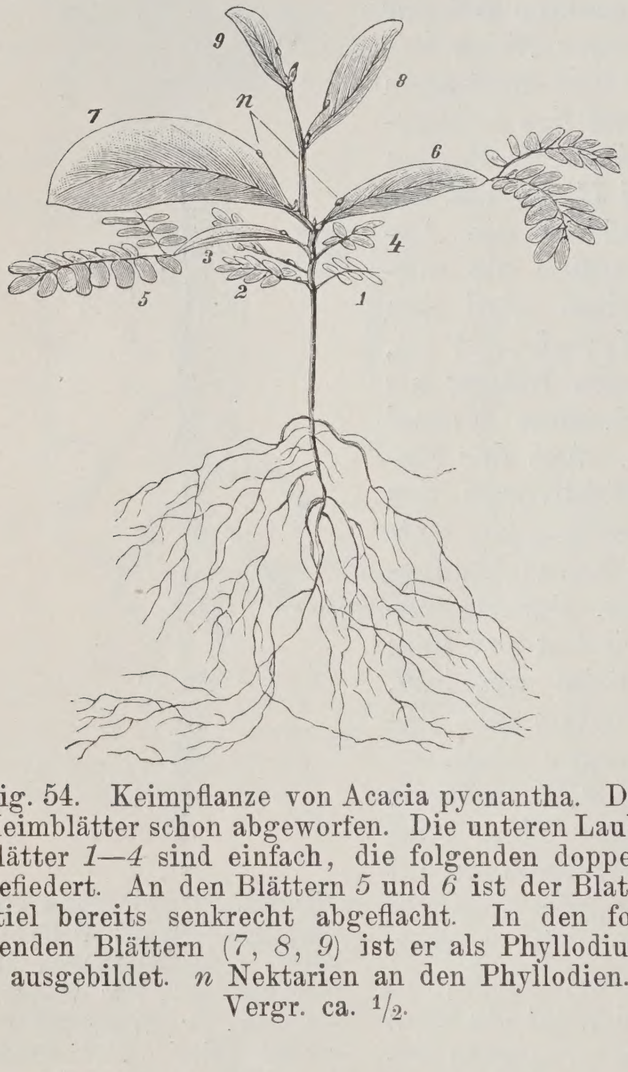


Fig. 54. Keimpflanze von Acacia pycnantha. Die Keimblätter schon abgeworfen. Die unteren Laubblätter *1—4* sind einfach, die folgenden doppelt gefiedert. An den Blättern *5* und *6* ist der Blattstiel bereits senkrecht abgeflacht. In den folgenden Blättern (*7*, *8*, *9*) ist er als Phyllodium ausgebildet. *n* Nektarien an den Phyllodien. Vergr. ca. 1/2.

mit abgeleiteten Blattformen, letztere an den Keimpflanzen erst über den Keimblättern und den ersten Laubblättern auftreten und meist allmählich ihre definitive Gestalt erlangen.

Regeneration.

Bei Pilzen und Algen werden verloren gegangene Teile des Körpers öfters unmittelbar ergänzt, es findet somit deren direkte Regeneration statt. Bei höher organisierten Gewächsen ist ein solcher Vorgang nur äußerst selten. Am leichtesten stellt er sich dort noch an embryonalen Anlagen ein, so an Vegetationspunkten, die einzelne ihrer Teile einbüßten. Besonders zeichnen sich Keimpflanzen durch ein solches Regenerationsvermögen aus. So ist an den Keimpflanzen von Cyclamen der Fall beobachtet, daß sogar eine abgeschnittene Blattspreite vom Blattstiel aus ergänzt wird. Im allgemeinen kehren aber, wo Regenerationen bei höher organisierten Pflanzen notwendig werden, und vorgebildete ruhende Anlagen nicht schon zur Verfügung stehen, ältere Körperteile in den embryonalen Zustand zurück und erzeugen neue sproßbildende Vegetationspunkte. Bei Thallophyten sind unmittelbare Regenerationen verloren gegangener Teile weit häufiger([16a]).

Zweiter Abschnitt.

Innere Morphologie.

(Histologie und Anatomie.)

I. Zellenlehre.

A. Zelle.

1. Bau der Zelle.

Alle Pflanzen werden, so wie die Tiere, aus Elementarorganen aufgebaut, die wir als Zellen bezeichnen. Im Gegensatz zu den tierischen Zellen sind ausgeprägt pflanzliche Zellen mit festen Häuten umgeben, daher scharf voneinander abgegrenzt. Dieser Umstand hat es auch bedingt, daß die Entdeckung der Zellen bei den Pflanzen erfolgte, doch waren das, was man zunächst sah, nur ihre Häute. Ein englischer Mikrograph, ROBERT HOOKE, gab den Zellen ihren Namen auf Grund ihrer Ähnlichkeit mit den Zellen der Bienenwaben, und bildete sie in seiner Mikrographie im Jahre 1667 zum ersten Mal ab. Das Bild wurde nach einem Stückchen Flaschenkork entworfen und hatte das Aussehen der nebenstehenden Fig. 55. ROBERT HOOKE wollte übrigens an den dargestellten Objekten nur die Leistungsfähigkeit seines Mikroskopes zeigen; als Begründer der pflanzlichen Histologie darf er nicht gelten, vielmehr fällt dieser Ruhm zwei

Fig. 55. Teil eines HOOKEschen Bildes des Flaschenkorkes, von HOOKE als Schematism, or Texture of Cork, bezeichnet.

anderen Gelehrten zu, dem Italiener Marcello Malpighi und dem Engländer Nehemiah Grew, deren Werke fast gleichzeitig, wenige Jahre nach Hookes Mikrographie, erschienen. Der lebende Inhalt der Zellen, der eigentliche Zellleib oder Zellkörper, wurde in seiner Bedeutung erst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts erkannt. Dann erst wandte man sich auch eingehend seinem Studium zu, das Meyen, Schleiden, Hugo v. Mohl, Nägeli, Ferdinand Cohn, Pringsheim und Max Schultze anbahnten und das dauernd noch gefördert wird.

Untersuchen wir bei starker Vergrößerung, auf zarten Längsschnitten, den Sproßscheitel einer phanerogamen Pflanze, wie wir ihn zuvor schon bei schwacher Vergrößerung (Fig. 17) betrachtet haben, so sehen wir ihn gebildet von annähernd rechteckig erscheinenden Zellen, die mit Inhalt dicht angefüllt und durch zarte Wände getrennt sind (Fig. 56). In jeder dieser Zellen fällt ein runder Körper (*k*) auf, der den größten Teil des Zellraums ausfüllt und den man Zellkern, oder auch nur Kern, Nucleus nennt. Vergleicht man Schnitte, die nach verschiedener Richtung durch den Vegetationskegel geführt werden, mit einander, so kommt man zu dem Ergebnis,

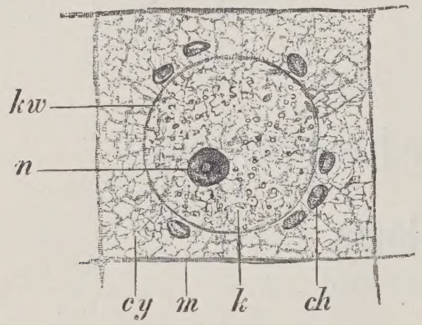


Fig. 56. Embryonale Zelle aus dem Vegetationskegel einer phanerogamen Pflanze, *k* Zellkern, *kw* Kernwandung, *n* Kernkörperchen, *cy* Cytoplasma, *ch* Chromatophoren, *m* Zellwandung. Etwas schematisiert. Vergr. ca. 1000.

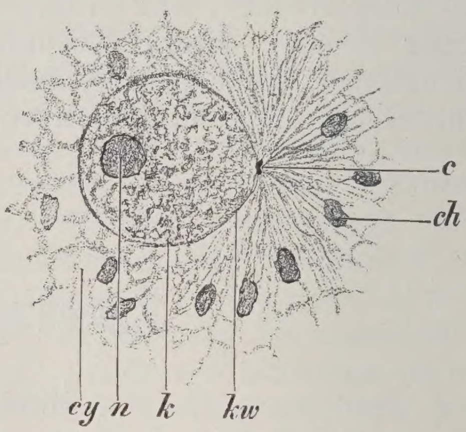


Fig. 57. Ein Zellkern und das ihn zunächst umgebende Cytoplasma *cy* aus einer Zelle der Keimpflanze der braunen Meeresalge Fucus serratus. *k* Zellkern, *kw* Kernwandung, *n* Kernkörperchen, *c* Centrosom, *ch* Chromatophoren. Vergr. ca. 1000.

daß die Zellen, die ihn aufbauen, annähernd kubisch oder tafelförmig sind, ihre Kerne mehr oder weniger kugelige oder scheibenförmige Gestalt besitzen. Die den Raum zwischen Zellkern (*k*) und Wandung (*m*) erfüllende Zellsubstanz (*cy*) erscheint feinkörnig, sie stellt das Zellplasma oder Cytoplasma vor. Um den Zellkern findet man, in dem Cytoplasma verteilt, stark lichtbrechende, meist farblose Körperchen, welche Farbträger oder Chromatophoren (*ch*) genannt werden. Zellkern, Cytoplasma und Chromatophoren sind die Elemente des lebendigen Körpers einer typischen pflanzlichen Zelle. Man faßt diese Elemente im Begriff des Protoplasma, oder Plasma, zusammen, das somit alle lebenden Bestandteile des Zellkörpers oder Protoplasten in sich schließt.

In tierischen Zellen haben neuere Untersuchungen außer den eben genannten Bestandteilen des Protoplasma, in unmittelbarer Nähe des Kerns, meist auch noch die Existenz kleiner Gebilde nachgewiesen, die man als Centriolen, Centralkörner, Centralkörper, Centrosomen und Attraktionssphären bezeichnet. Ähnliche Gebilde gelang es auch im Pflanzenreich in den Zellen niederer Kryptogamen nachzuweisen (Fig. 57 *c*), während ihre Existenz in den Zellen der höheren Kryptogamen und Phanerogamen streitig ist([17]).

Die beiden wesentlichsten Bestandteile des Protoplasma sind der Kern

und das Cytoplasma, und auf ihrer Wechselwirkung beruhen die Lebensfunktionen der Zelle. Doch ist für die niedersten Gewächse, Spaltalgen (Cyanophyceen) und Bakterien, diese Arbeitsteilung im Protoplasma, im besonderen das Vorhandensein von Zellkernen noch unsicher([18]). Dem Protoplasma der Bakterien([19]) und der Pilze fehlen bestimmt die Chromatophoren und sie gehen auch allen tierischen Zellen ab.

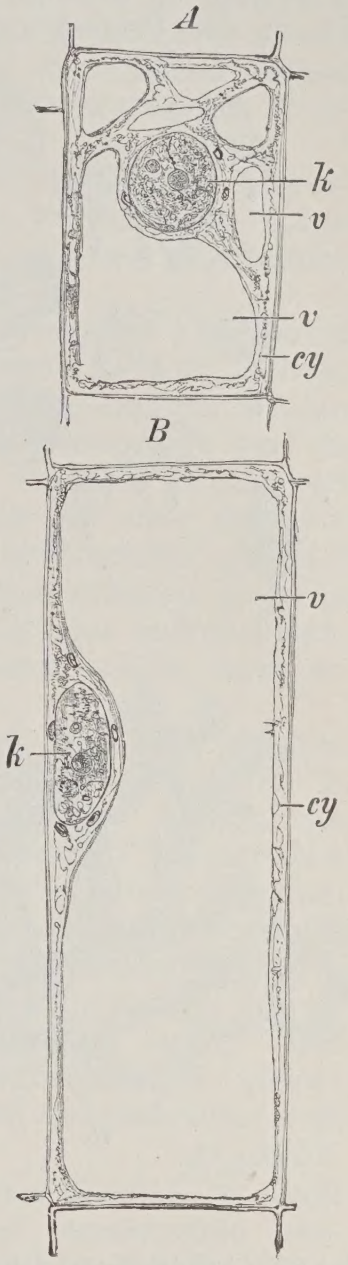


Fig. 58. Zwei getrennte Zellen in steigender Entfernung vom Vegetationspunkt, einem phanerogamen Sproßscheitel entnommen. *k* Kern, *cy* Cytoplasma, *v* Vakuolen bezw. Saftraum. Etwas schematisiert. Vergr. ca. 500.

Während die tierischen Zellen im allgemeinen dauernd mit Protoplasma angefüllt bleiben, sieht man in pflanzlichen Zellen sich alsbald große Safträume bilden. Nur die embryonalen Zellen der Pflanzen sind mit Protoplasma meist dicht erfüllt. So zeigen sie sich in Keimanlagen und an Vegetationspunkten. Weiterhin werden die pflanzlichen Zellen, an Größe zunehmend, im Verhältnis plasmaärmer. Das läßt sich an jedem Längsschnitt durch einen Sproßscheitel verfolgen. In einiger Entfernung von dessen Spitze weisen die vergrößerten Zellen bereits eine größere Anzahl mit wässerigem Saft, Zellsaft, erfüllter Hohlräume, Vakuolen (*v* in *A* Fig. 58) in ihrem Cytoplasma auf. Die Zellen fahren dann noch fort an Größe zuzunehmen, die Vakuolen in ihrem Cytoplasma verschmelzen, und schließlich wird meist ein Zustand erreicht, wo nur noch ein einziger großer, mit Zellsaft erfüllter Hohlraum, der Saftraum (*v* in *B* Fig. 58), im Cytoplasma der Zelle vorhanden ist. Dann bildet das Cytoplasma einen dünnen Beleg an der Zellwandung und in diesem Beleg ist auch der Kern eingebettet, der in solcher Lage als ein wandständiger bezeichnet wird. Es kann aber auch in einer ausgewachsenen Zelle der Saftraum von Strängen und Fäden aus Cytoplasma durchsetzt bleiben und der Kern dann innerhalb dieser aufgehängt sein. Auch dann ist der Kern von Cytoplasma allseitig umhüllt, und stets ist auch in jeder noch lebenden Zelle ein ununterbrochener Beleg aus Cytoplasma an der Zellwandung vorhanden. — Dieser cytoplasmatische Wandbeleg liegt der Zellwandung überall dicht an. In älteren Zellen kann er so dünn werden, dass man ihn nicht unmittelbar beobachten kann. Erst wasserentziehende Mittel, die sein Zurücktreten von der Zellwandung veranlassen, machen ihn alsdann sichtbar. So dünne cytoplasmatische Wandbelege waren es, die Hugo von Mohl als Primordialschläuche bezeichnete.

In toten Zellen findet man nur Plasmareste; es können auch diese vollständig geschwunden sein. Solche tote Zellen verdienen streng genommen die Bezeichnung „Zelle“ nicht mehr, wenn es auch gerade solche Gebilde waren, die den Namen Zellen zuerst erhielten. Eigentlich stellen sie dann nur noch Zellräume vor. Ihre Bedeutung für den Pflanzenkörper brauchen die Zellen mit ihrem Tode aber nicht einzubüßen. Ja, ohne solche tote Zellräume könnte die höher organisierte Pflanze nicht

auskommen, denn sie bilden ihre Wasserbahnen und tragen zu ihrer mechanischen Festigung bei. Das Kernholz unserer Bäume besteht ausschließlich aus Wandungen toter Zellen.

Das Protoplasma. Um einen Einblick in das Wesen des Protoplasma zu gewinnen, wenden wir uns zunächst an eine Gruppe von Organismen, die an der Grenze zwischen dem Pflanzenreich und dem Tierreich steht, an die Schleimpilze oder Myxomyceten, die durch einen Entwicklungszustand ausgezeichnet sind, auf welchem ihr Protoplasma in größeren nackten Massen, den sogen. Plasmodien, auftritt.

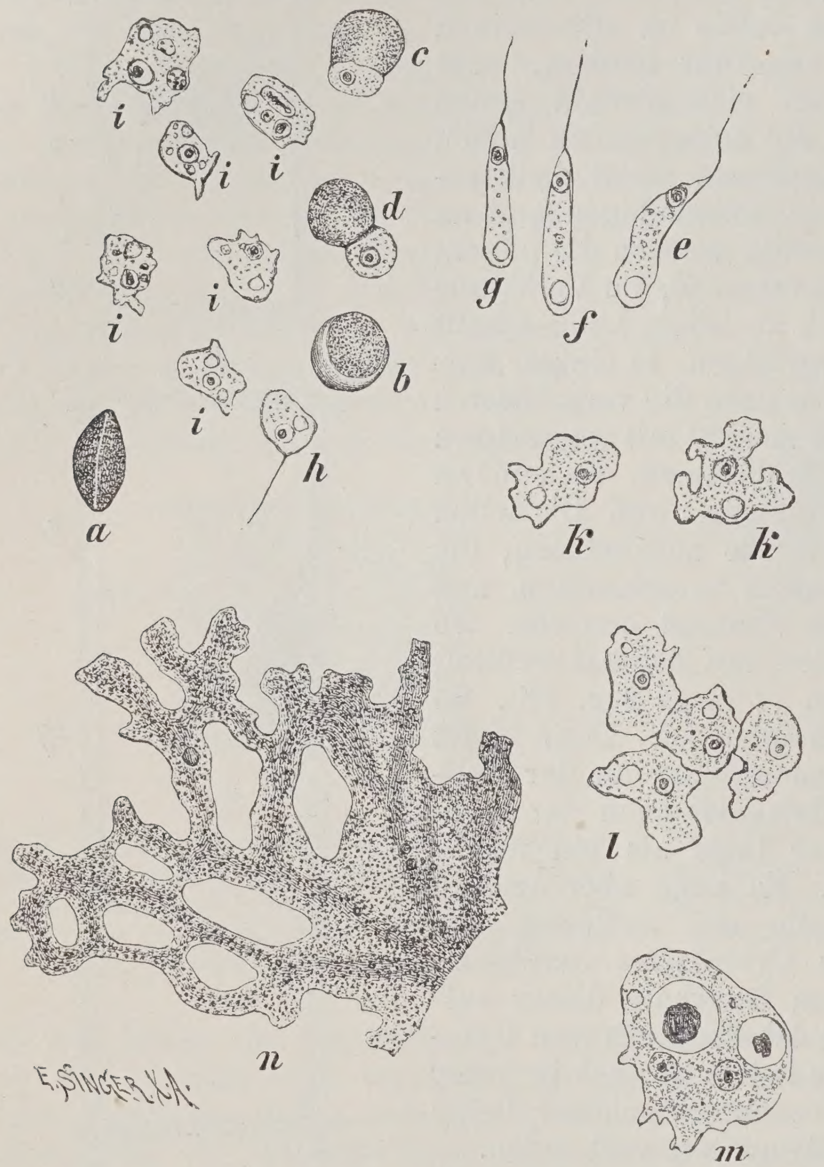


Fig. 59. Chondrioderma difforme. *a* eine trockene, zusammengefaltete Spore, *b* eine geschwellte Spore, *c* und *d* Austritt des Inhalts aus der Spore, *e*, *f* und *g* Schwärmsporen, *h* Übergang der Schwärmspore zur Myxoamöbe, *i* jüngere, *k* ältere Myxoamöben, *l* aneinander liegende Myxoamöben kurz vor der Verschmelzung, *m* ein kleines Plasmodium. *n* Ast eines ausgewachsenen Plasmodiums, *a*—*m* 540 mal, *n* 90 mal vergrößert.

Das Plasmodium geht aus dem Protoplasma der Sporen dieser Organismen hervor. Ihre Sporen sind einzellige Gebilde (Fig. 59 *a* und *b*), erfüllt mit Cytoplasma, das einen centralen Zellkern birgt und von einer resistenten Zellwand umhüllt ist. In Wasser keimen die Sporen, ihr Inhalt sprengt die Wandung, tritt nach außen hervor (*c* und *d*), und rundet sich ab. Alsbald stellen sich Gestaltsänderungen an ihm ein und er streckt sich zu einem birnförmigen Körper, dessen vorderes Ende sich fadenförmig, als Geißel, verlängert (*e*, *f*, *g*). Die in solcher Weise aus dem Sporeninhalt erzeugte Schwärmspore versetzt nun ihre Geißel in peitschenartige Bewegung und schwimmt davon. In der Nähe ihres vorderen Endes führt sie den Kern, nahe am hinteren Ende eine kontraktile Vakuole, das heißt ein Bläschen, das langsam anschwillt, um plötzlich zu schwinden und dann wieder anzuschwellen. Das Vorhandensein solcher pulsierender Vakuolen bei einem Organismus galt früher als entscheidendes Merkmal seiner tierischen Natur. Jetzt kennt man kontraktile Vakuolen auch in den Schwärmsporen zahlreicher grüner Algen, an deren Zugehörigkeit zum Pflanzenreich nicht zu zweifeln ist.

Die Schwärmsporen der Myxomyceten geben alsbald das Schwärmen auf, beginnen auf der Unterlage zu kriechen, ziehen ihre Geißeln ein und nehmen eine unregelmäßige Gestalt an, die derjenigen tierischer Amöben gleicht. In diesem Zustande verändern sie auch fortdauernd, gleich Amöben, ihre Gestalt. Bei Chondrioderma difforme, einem Myxomyceten, der auf faulenden Pflanzenteilen sehr verbreitet ist und den unsere Fig. 59 vorführt, so wie auch bei den meisten anderen Myxomyceten, beginnen die Amöben alsbald sich aneinander zu legen (*l*) und zu verschmelzen. So entsteht das Plasmodium (*n*).

Während die einzelnen Amöben, aus welchen das Plasmodium hervorgeht, so klein sind, daß man sie erst bei starker Vergrößerung sehen kann, erreicht das Plasmodium, in das sie übergehen, oft eine ansehnliche Größe.

Sowohl das Cytoplasma der einzelnen Amöben wie der Plasmodien weist eine glashelle Grundsubstanz auf mit eingestreuten Körnern. Diese Substanz ist zähflüssig, dichter an ihrer Oberfläche als im Innern, in den dichteren Teilen körnerfrei, in den weniger dichten körnerreich und in lebhafter Strömung begriffen. Diese inneren Ströme wechseln fortdauernd ihre Richtung, bewegen sich abwechselnd dem Rande zu oder von ihm hinweg, und dementsprechend werden am Rande selbst Fortsätze gebildet oder wieder eingezogen. Wo diese nackten Protoplasmamassen fremden Körpern begegnen, sind sie auch befähigt, sie in ihr Inneres aufzunehmen, in Vakuolen einzuschließen und, soweit es deren Natur zuläßt, auch zu verdauen.

Durch Wasserverlust kann das Protoplasma hart und zähe werden, ohne seine Lebensfähigkeit einzubüßen. Die Lebensfunktionen ruhen aber in solchem Zustande und erwachen erst wieder bei Wasserzufuhr. So sind die Plasmodien der Schleimpilze vielfach befähigt, bei Wassermangel Sklerotien zu bilden, ruhende Körper von fast wachsartiger Konsistenz. Nach Monaten, manchen Angaben zufolge selbst nach Jahren, lassen sich nach entsprechender Befeuchtung aus solchen Sklerotien wieder bewegliche Plasmodien erziehen. So trocknet auch das Protoplasma in den Zellen länger aufbewahrter Samen zu harten Massen ein, die sich mit dem Messer schneiden lassen. Die Kerne sind dann zu unförmlichen Gebilden zusammengeschrumpft, nichtsdestoweniger kann auch dieses Protoplasma nach Wasseraufnahme den aktiven Zustand zurückerlangen.

Das Protoplasma ist nicht ein einheitlicher chemischer Körper, es stellt vielmehr eine große Zahl von Verbindungen vor, die fortdauernde Veränderungen erfahren. In seinem Aufbau fehlen nie die Eiweißstoffe, daher das Protoplasma als Ganzes stets Eiweißreaktionen gibt und beim Verbrennen Ammoniakdämpfe entweichen läßt.

Das in Tätigkeit befindliche Protoplasma reagiert für gewöhnlich alkalisch, unter Umständen auch neutral, niemals aber sauer. Es gerinnt in höher organisierten Pflanzen bei Temperaturen, die nicht viel über 50° C. liegen, in Spaltpflanzen (Spaltalgen und Spaltspilze) oft erst bei 75° C. Im inaktiven Zustande, wo es sehr wasserarm ist, so in ruhenden Sporen und Samen, kann das Protoplasma weit höhere Temperaturen ohne Tötung ertragen. Die Sporen mancher Spaltpilze (Bakterien) halten Temperaturen bis 105° C. aus. Durch Alkohol oder Äther, durch Säuren von bestimmter Koncentration, durch doppeltchromsaure Salze der Alkalimetalle, durch Sublimatlösungen wird das Protoplasma zum raschen Erstarren gebracht, wobei zum Teil unlösliche Proteïnverbindungen entstehen. Diese Gerinnungsmittel spielen jetzt eine große Rolle in der mikroskopischen Technik, insbesondere solche, die möglichst unverändert die Struktur des Protoplasma fixieren und es zugleich härten. Vornehmliche Verwendung finden zu diesem Zwecke Alkohol, 1 % Chromsäure, 1 % Essigsäure, 0,5—1 % Osmiumsäure, koncentrierte Pikrin-

säure, oder entsprechende Gemische dieser Säuren, auch Sublimatlösungen und Formaldehyd. — Durch Jod wird das Protoplasma bräunlichgelb gefärbt, braungelb durch Salpetersäure und darauf folgende Kalilauge (sogen. Xanthoproteïn-Reaktion), ziegelrot durch eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul, dem sogen. MILLONschen Reagens, rosenrot bei Anwesenheit von Zucker durch Schwefelsäure. Diese Reaktionen geben Eiweißkörper an, sind ihnen aber nicht ausschließlich eigen. — Durch verdünnte Kalilauge wird das Protoplasma gelöst, so auch durch JAVELLEsche Lauge (Eau de JAVELLE, vornehmlich Kaliumhypochlorid), daher beide auch als erprobte Mittel zum Durchsichtigmachen von Präparaten, die man nicht auf ihren Zellinhalt hin untersuchen will, in Anwendung kommen. Alle die angeführten Reagentien töten das Protoplasma; dann stellt sich überhaupt erst die charakteristische Reaktion an ihm ein. — Es ist eine ganze Reihe von Eiweißstoffen angegeben worden, die in den Aufbau des lebendigen Protoplasma eingehen sollen. Die meisten dieser Körper sind aber noch wenig definiert; in den Zellkernen dominieren die Nucleïne, ohne übrigens auch dem Cytoplasma ganz zu fehlen. Sie zeichnen sich durch ihren Phosphorreichtum aus und werden von Pepsinlösung nicht, von Trypsin nur schwer angegriffen. — Zu einem sehr wesentlichen Hilfsmittel der mikroskopischen Forschung für die Unterscheidung verschiedener Bestandteile des Protoplasma ist das Färbungsverfahren geworden. Sein Wert beruht darauf, daß die verschiedenen Bestandteile des Protoplasma mit ungleicher Begierde Farbstoffe aufspeichern und mit verschiedener Kraft festhalten. Eine Anzahl von Farbstoffen wird erst vom toten Protoplasma merklich gespeichert, gewisse Anilin-Farbstoffe dringen aber in geringen Mengen auch in den lebendigen Protoplasten ein. Zur Färbung der fixierten pflanzlichen Protoplasten bedient man sich vornehmlich der Karminlösungen, des Hämatoxylins, des Safranins, des Jodgrüns, des Säurefuchsins, Eosins, Gentianavioletts, Orange, Methylenblaus und Anilinblaus. Die verschiedenen Teile des Protoplasma färben sich alsdann mit verschiedener Stärke und halten den Farbstoff verschieden stark zurück, wenn man ihnen denselben durch Lösungsmittel wieder zu entziehen sucht. Im allgemeinen färbt sich der Zellkern am intensivsten, im besonderen aber eine bestimmte Substanz in ihm, die eben dieser Eigenschaft wegen als Chromatin bezeichnet wird. — Abgesehen von denjenigen Substanzen, welche als integrierende Bestandteile des aktiven Protoplasma aufzufassen sind, enthält letzteres wohl stets Spaltungsprodukte der Albuminate, vor allem Amide wie Asparagin, Glutamin, dann Fermente, wie Diastase, Pepsin, Invertin, unter Umständen auch Alkaloide, außerdem wohl stets Kohlehydrate und Fette. Daß Mineralstoffe im Protoplasma nicht fehlen, wenn sie auch nur in geringer Menge verteten sind, zeigt die Asche, welche das Protoplasma nach dem Verbrennen zurückläßt. Alle solche Substanzen, welche das Protoplasma nicht unmittelbar aufbauen, sondern in ihm eingeschlossen sind, werden als Metaplasma zusammengefaßt.

Das Cytoplasma. Das Cytoplasma der umhäuteten pflanzlichen Zellen ist, so wie dasjenige der Amöben und Plasmodien der Schleimpilze (S. 48), meist eine zähflüssige Masse. Es teilt demgemäß auch die physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten, und strebt, von der Zellhaut künstlich befreit, der Kugelform zu. In embryonalen Zellen der Pflanzen pflegt die Kohäsion im Cytoplasma größer als in den nächst älteren Zellen zu sein und sie kann sich unter Umständen bis zu jener Konsistenz steigern, wie sie beispielsweise die Bildung von Geißeln an Schwärmsporen (S. 48) verlangt.

Wie in dem Cytoplasma der Schleimpilze ist auch in den behüllten pflanzlichen Zellen die Grundsubstanz hyalin. Sie wird als Hyaloplasma bezeichnet. Ist sie mit Körnchen beladen, so heißt sie Körnerplasma. Nach außen ist das Cytoplasma von einer äußerst dünnen, körnchenfreien Plasmahaut, der Hautschicht umschlossen. Gegen den Saftraum (S. 47) und andere Vakuolen grenzt sich das Cytoplasma ebenfalls durch körnchenfreie Plasmahäute ab, die als Vakuolenwände bezeichnet werden. Diese Vakuolenwände zeichnen sich durch große Lebenszähigkeit aus. Man kann mit 10prozentiger Salpeterlösung das übrige Cytoplasma töten, während die

Vakuolenwände zunächst lebendig bleiben. Da der Saftdruck in der Zelle unter der Herrschaft dieser Vakuolenwände steht, so nennt sie Hugo de Vries(19) Tonoplasten.

Die kleinen Körner, die das Körnerplasma aufweist, werden als Kleinkörper oder Mikrosomen zusammengefaßt. Ihre stoffliche Natur ist verschieden. Zum Teil stellen sie mit gelösten Stoffen erfüllte Bläschen dar, die als Physoden bezeichnet wurden.

Wie in den nackten Amöben und Plasmodien der Schleimpilze, so zeigt auch in behäuteten pflanzlichen Zellen das Cytoplasma oft Bewegung. Meist stellt sich diese erst in etwas älteren Zellen ein. Wir lernten bereits bei den Schleimpilzen verschiedene Arten der Bewegung kennen: die Geißelbewegung an den Schwärmsporen, die in einer Schwingung feiner Cytoplasmafäden bestand, die äußere Gestaltsveränderung an den Amöben und Plasmodien, die sie zu einer kriechenden Bewegung befähigt, endlich eine innere Strömung. In den behäuteten pflanzlichen Zellen pflegt sich das Cytoplasma entweder in isolierten Strömen mit wechselnder Richtung oder in einem einzigen Strom mit konstanter Richtung zu bewegen. Man unterscheidet danach zwischen Circulation und Rotation des Cytoplasma. Der Rotationsstrom folgt der Zellwandung; in den Zellen, die ihn zeigen, ist das Cytoplasma auf einen Wandbeleg reduziert. Der Strom beschreibt eine kreisende, in sich zurücklaufende Bahn. Die Circulationsströme sind nicht auf den Wandbeleg beschränkt, sie durchsetzen auch in Strängen den Saftraum. Die Hautschicht nimmt in keinem Falle an der Strömung teil. Die Circulation ist in den Zellen der Landpflanzen häufig, die Rotation herrscht bei Wasserpflanzen vor. Die Strömung pflegt besonders kräftig zu werden, wenn durch eine Verwundung, so durch den Schnitt bei Herstellung des zu beobachtenden Präparats, ein Reiz auf die Protoplasten ausgeübt wurde.

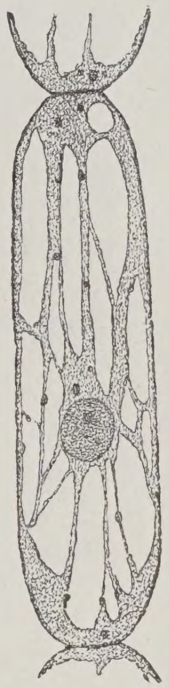


Fig. 60. Eine Zelle aus einem Staubblatthaare von Tradescantia virginica. Innerhalb der Stränge in der unteren Zellhälfte der runde Zellkern. Vergr. 240.

Ein besonders günstiges Objekt für das Studium der Circulation geben die Staubblatthaare von Tradescantia virginica ab. In jeder ihrer Zellen (Fig. 60) bewegen sich feine Ströme nach verschiedenen Richtungen im dünnen cytoplasmatischen Wandbeleg, außerdem innerhalb der den Saftraum durchsetzenden Cytoplasmastränge. Letztere verändern dabei langsam ihre Gestalt und ihre Lage und veranlassen dadurch auch Lageänderungen des Kerns. Von dem in Rotation befindlichen Körnerplasma werden Zellkern und Chromatophoren meist mitgeführt, doch können die Chromatophoren an der Hautschicht haften und infolgedessen unbeweglich sein. So ist es beispielsweise bei den Armleuchtergewächsen (Characeen), Süßwasserpflanzen, deren lange Gliederzellen in der Gattung Nitella zugleich sehr günstige Objekte für die Beobachtung auffälliger Rotationsströmung abgeben.

Cytoplasma, das mit entsprechenden Mitteln fixiert wurde (S. 49), zeigt mehr oder weniger deutlich einen wabigen Bau. Zwischen den Waben kann man unter Umständen auch Fäden verlaufen sehen (Fig. 57). So scheinen zwei Bestandteile in der Grundsubstanz des Cytoplasma vertreten zu sein, von denen der eine dazu neigt, schaumartige Alveolen zu bilden, der andere, sich in Fäden zu differenzieren.

Man kann sie als Waben- oder Alveolarplasma und als Faden- oder Filarplasma unterscheiden. Im Hinblick darauf, dass das Alveolarplasma an den Ernährungsvorgängen vornehmlich beteiligt zu sein scheint, das Filarplasma besonders in die Entwicklungs-

vorgänge eingreift, hat man sie auch als Trophoplasma und Kinoplasma, letzteres auch als Archiplasma, bezeichnet. Die Hautschicht der Cytoplasten gehört ihrem entwicklungsgeschichtlichen Ursprung nach zum Kinoplasma, die Vakuolenwände zum Trophoplasma. Die Vakuolen gehen aus den sich vergrößernden und abrundenden, zur Bildung größerer Safträume miteinander verschmelzenden Waben des Alveolarplasma hervor.

Der Zellkern weist Fäden auf, deren Schlingen durcheinander gewunden und durch seitliche Brücken miteinander verbunden sind (Fig. 56). Der Zellkern stellt somit ein zartes Gerüstwerk vor, das aber am lebenden Objekt meist nur in einer feinen Punktierung sich zu erkennen gibt. Eine Strömung findet im Innern des Zellkerns nicht statt. Einblick in die Kernstruktur ist nur an entsprechend fixierten und gefärbten Präparaten zu erlangen. Man stellt dann fest, daß die Hauptmasse des Gerüstes von dem dünnen, sich meist nur schwach färbenden Faden gebildet wird, in welchem stark tingierbare Körnchen liegen. Die Substanz des Fadens hat man als Linin, diejenige der Körnchen als Chromatin unterschieden. Zwischen den Windungen des Lininfadens liegen, in Ein- oder Mehrzahl, die größeren, sich auch intensiv, doch meist anders als die Chromatinkörnchen, färbenden Kernkörperchen oder Nucleolen (*n*). Das Gerüstwerk des Kerns befindet sich innerhalb der Kernhöhle, die mit Kernsaft gefüllt und von einer Kernwandung (*kw*) umgeben ist. Die Kernwandung gehört zu dem umgebenden Cytoplasma; sie ist eine Hautschicht, mit der sich das Cytoplasma gegen die Kernhöhle abschließt. — In jungen protoplasmareichen Zellen ist der Zellkern im allgemeinen rund, in dem cytoplasmatischen Wandbeleg älterer Zellen oft scheibenförmig, in gestreckten Zellen nimmt er auch langgestreckte Formen an, ausnahmsweise zeigt er sich in älteren Zellen spindelförmig gestaltet, oder gabelig geteilt, oder gelappt, oder sonst unregelmäßig ausgebildet. Um eine solche Form zu erlangen, macht der Zellkern langsame Gestaltveränderungen durch, meist aber so langsam, daß sie sich der direkten Beobachtung entziehen.

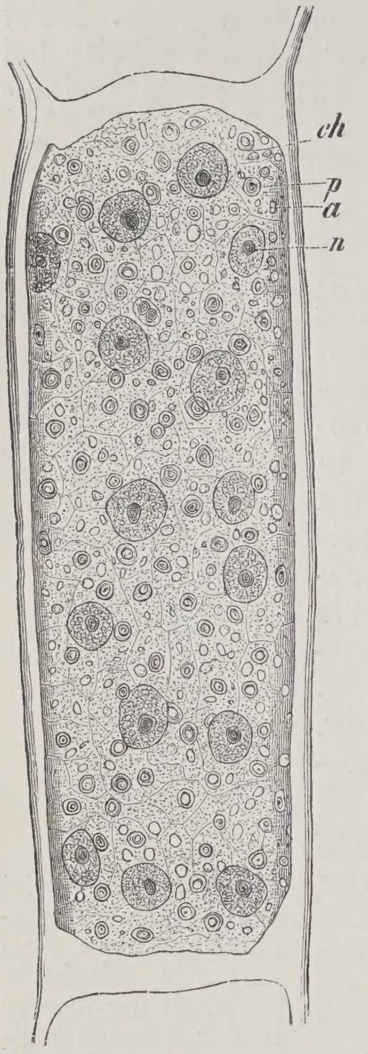


Fig. 61. Eine Zelle von Cladophora glomerata, nach einem mit 1% Chromsäure fixierten und mit Karmin tingierten Präparate. *n* Kerne, *ch* Chromatophoren, *p* Amylumherde, *a* Stärkekörnchen. Vergr. 540.

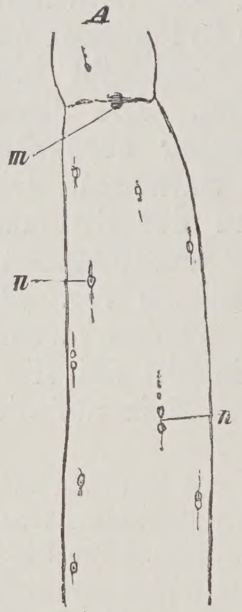


Fig. 62. Zwei Stücke aufeinander folgender Zellen einer Hyphe aus dem Stiel des Fruchtkörpers von Psalliota arvensis. *n* Kerne, *m* Tüpfel. Vergr. 540.

Fast ausschließlich haben wir es im Aufbau der Kormophyten nur mit einkernigen Zellen zu tun; bei den Thallophyten hingegen sind vielkernige Zellen sehr verbreitet, und bei den Pilzen und den Schlauchalgen (Siphoneen) herrschen sie vor. Der ganze Organismus wird alsdann entweder von einer einzigen solchen vielkernigen Zelle gebildet, die bei einigen Schlauchalgen

eine weitgehende äußere Gliederung erlangt hat (Fig. 253), oder er besteht aus einer größeren Zahl vielkerniger Zellen in gegenseitiger Verbindung. So folgen vielkernige Zellen, zu einem Faden verbunden, aufeinander, bei der uns schon bekannten Süßwasseralge Cladophora glomerata (S. 9, Fig. 6). Jede Zelle des Fadens läßt, nach entsprechender Behandlung, in den äußeren Teilen ihres Cytoplasma zahlreiche Kerne erkennen (Fig. 61).

Die langen vielkernigen Zellen der Pilze, von schlauchförmiger Gestalt, bezeichnet man als Hyphen. Ein Stück einer solchen Hyphe zeigt Fig. 62. Die Kerne der Pilze (*n* Fig. 62) und vieler Schlauchalgen zeichnen sich durch geringe Größe aus.

Die Centriolen und Centrosomen. Bei den niederen Kryptogamen (Thallophyten und Bryophyten) gelang es in einer Anzahl von Fällen, Gebilde nachzuweisen, welche den tierischen Centriolen und Centrosomen entsprechen. Wo Centriolen vorhanden, wie bei gewissen Meeresalgen (*Fucus*, Fig. 57), zeigen sie hantelförmige Gestalt. Größere Abgrenzungen von aktivem Cytoplasma kommen verschiedenen Pilzen zu und wären mit den tierischen Centrosomen zu vergleichen, doch ohne, wie jene, im Innern Centriolen einzuschließen. Ähnliche Gebilde stellen sich endlich in den Mutterzellen der Spermatozoiden bei den Gefäßkryptogamen und bestimmten Gymnospermen([20]) ein. Sie werden dort als Blepharoplasten bezeichnet und geben das Material zum Aufbau der Cilien der Spermatozoiden ab. Im übrigen sind in den Zellen der höher organisierten Pflanzen Gebilde, die sich mit Centriolen und Centrosomen vergleichen lassen, nicht nachgewiesen worden.

Die Chromatophoren([21]). In den embryonalen Zellen der Keimanlagen und Vegetationspunkte stellen die Chromatophoren kleine farblose, stark lichtbrechende Gebilde dar, die sich vornehmlich in der Nähe des Zellkerns (Fig. 56 *ch*) aufhalten. Sie können dieses Aussehen auch in älteren Zellen behalten (Fig. 110 *A*, *l*), oder erfahren dort eine weitere Ausbildung zu Chloroplasten, Leukoplasten oder Chromoplasten, die, als Gebilde gleichen Ursprungs, unter der Bezeichnung Chromatophoren zusammengefaßt werden.

Chloroplasten. In peripherischen dem Lichte ausgesetzten Teilen der Pflanze werden aus den Anlagen der Chromatophoren meist grüne Chloroplasten oder Chorophyllkörper erzeugt. Sie liegen im protoplasmatischen Wandbeleg der Zellen und zeigen für gewöhnlich die Gestalt ellipsoidischer, etwas abgeflachter Körner (Fig. 63). In dieser Form, als Chlorophyllkörner treten sie uns bei allen Kormophyten und bei einem großen Teile grün gefärbter Thallophyten entgegen. Bei den niederen Algen können die Chlorophyllkörper aber auch anders gestaltet sein und bandförmige (Fig. 240 *c*), sternförmige oder plattenförmige Gestalten aufweisen. Die Grundsubstanz der Chlorophyllkörper ist farblos, führt aber zahlreiche gefärbte Tröpfchen, die man als Grana bezeichnet. Letztere bestehen aus einer ölartigen Substanz, welche grüne und gelbe Farbstoffe in Lösung hält. Mit Alkohol lassen sich diese Farbstoffe extrahieren, der Chlorophyllkörper bleibt farblos zurück.

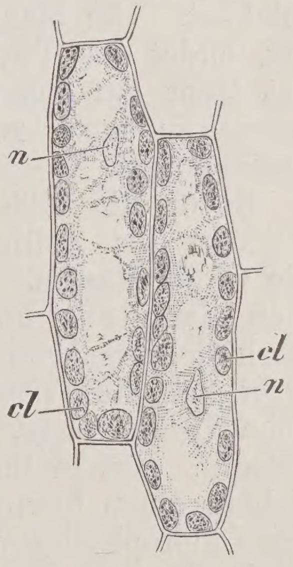


Fig. 63. Zwei Zellen mit Chlorophyllkörnern (*cl*) aus dem Blatt des Laubmooses Funaria hygrometrica. *n* Zellkerne. Vergr. 300.

Am schnellsten läßt sich eine intensive Clorophylllösung aus Laubblättern erhalten, die man mit siedendem Alkohol auszieht. Außer in Alkohol sind die Chlorophyllfarbstoffe auch in Äther, fetten und ätherischen Ölen, Paraffin, Petroleum, Schwefelkohlen-

stoff löslich. Die alkoholische Lösung erscheint bei durchfallendem Lichte smaragdgrün, bei auffallendem Lichte blutrot, letzteres infolge von Fluoreszenz. -- Wird eine alkoholische Chlorophylllösung mit Benzin geschüttelt, so sammelt sich letzteres hierauf, wie KRAUS zuerst zeigte, als grüne Lösung über dem gelben Alkohol an. — Nach MARCHLEWSKI und C. A. SCHUNCK (22) enthalten die alkoholischen Extrakte der höher organisierten Gewächse zwei grüne Farbstoffe, das eigentliche Chlorophyll, das niemals fehlt, und das Allochlorophyll, das unter Umständen fehlen kann. Die gelben Farbstoffe der Chlorophyllkörner pflegen als Xantophyll zusammengefaßt zu werden. Unter diesen Farbstoffen ist nur das Chrysophyll, das glänzend rote Kristalle bildet, bisher sicher unterschieden. Das übrige Xantophyll bildet amorphe Massen. — Das eigentliche Chlorophyll ist durch drei Absorptionsbänder im weniger brechbaren Teile des Spektrums und drei im stärker gebrochenen ausgezeichnet, während für Allochlorophyll bis jetzt nur ein Band im Rot sicher steht. Die gelben Farbstoffe der Chlorophyllkörper geben vier Absorptionsbänder im Spektrum zwischen den FRAUENHOFERschen Linien *F* und *L*, im Violett und Ultraviolett. — Die Menge des bei grünen Pflanzenteilen vorhandenen Chlorophyllgrüns ist nur gering. TSCHIRCH (23) berechnet, dass aus einem Quadratmeter grüner Laubblätter nur 0,2—1,0 g Chlorophyll zu gewinnen ist. — Durch Säuren wird das Chlorophyll zersetzt. Schon der Zutritt des sauren Zellsaftes zu den Chlorophyllkörnern genügt, um sie braungrün zu färben. Daher das Braunwerden der Pflanzen beim Trocknen.

Aus den Untersuchungen von MARCHLEWSKI und von NENCKI hat sich die wichtige Tatsache einer chemischen Verwandtschaft des Chlorophylls mit dem Hämoglobin der roten Blutkörperchen ergeben (24).

Die grüne Färbung des Chlorophylls wird in bestimmten Abteilungen der Algen durch andere Farbstoffe mehr oder weniger verdeckt. Viele blaugrüne und spangrüne Spaltalgen enthalten in ihren Chlorophyllkörpern außer dem Chlorophyllgrün und den dasselbe begleitenden gelben Farbstoffen, auch einen blauen Farbstoff, das Phycocyan, die braunen Meeresalgen einen braunen, das Phycophaein, die roten Meeresalgen einen roten, das Phycoerythrin. Diese spezifischen Algen-Farbstoffe sind im Wasser löslich, das Phycocyan und Phycoerythrin durch schöne Fluoreszenz ausgezeichnet. Um blaugrüne Spaltalgen, die man in einer Pflanzenpresse trocknet, bildet das Phycocyan oft einen blauen Saum. Rote Meeresalgen, die das Meer auf den Strand warf, werden dort bald grün, weil sich ihr Phycoerythrin rasch zersetzt und das Chlorophyllgrün nun allein die Färbung bestimmt.

Bevor die Blätter der Holzgewächse im Herbst abgeworfen werden, wandert ihr Zellinhalt mehr oder weniger aus und es lösen sich auch die Chloroplasten. In den mit wäßrigem Inhalt erfüllten Zellräumen sieht man dann nur noch einige Öltröpfchen und Kristalle, außerdem gelbe, stark lichtbrechende Kugeln. Unter Umständen, so bei hohem Zuckergehalt, färbt sich die Flüssigkeit in den Zellräumen rot und veranlaßt die herbstliche Laubfärbung. — Anders bei den im Winter sich bräunenden Nadelhölzern. Das in ihren Chloroplasten enthaltene Chlorophyllgrün verwandelt sich in einen braungrünen Körper, aus welchem sich im nächsten Frühjahr das Chlorophyllgrün wieder regeneriert.

In den nicht grünen phanerogamen Schmarotzern oder Humusbewohnern gelangen die Chloroplasten nicht zur Ausbildung, sind vielmehr durch weiße, auch wohl bräunliche oder rötliche Chromatophoren ersetzt. Den Pilzen gehen, wie schon hervorgehoben wurde, die Chromatophoren ganz ab.

Leukoplasten. In den inneren Teilen der Pflanze, zu welchen das Licht nicht gelangt, bilden sich die Anlagen der Chromatophoren zu farblosen Leukoplasten aus. Letztere sind von dichterem Gefüge als die Chloroplasten, meist kugelig, nicht selten gestreckt, infolge eines im Innern eingeschlossenen Eiweißkristalls. Dem Lichte ausgesetzt, wandeln sie sich

häufig in Chloroplasten um; so in den äußeren Partien von Kartoffelknollen.

Chromoplasten. In vielen Blumenblättern und Früchten gehen entweder direkt aus den farblosen Anlagen, oder aus zuvor ausgebildeten Chloroplasten, die Chromoplasten hervor. Die Chromoplasten können in ihrem Aussehen den Chloroplasten gleichen und bilden dann rundliche Körner wie diese, die meist aber kleiner sind; oder sie zeigen sich, infolge der Kristallisation des Farbstoffes, nadelförmig gestreckt, oder zu dreieckigen oder rhombischen Tafeln und Fächern ausgestaltet (Fig. 64, 65). Ihre Färbung hält sich zwischen gelb und rot und rührt entweder von orangerotem Karotin oder gelben Xanthophyllen her. Das Karotin führt seinen Namen nach den Karotten, den spindelförmigen Wurzeln der Möhre (Daucus Carota), in welchen es reichlich vertreten ist (Fig. 65) und denen es auch die gelbrote Färbung verleiht. Das Karotin neigt zum Auskristallisieren und bedingt hierdurch die eben erwähnten kristallähnlichen Formen bei vielen Chromoplasten. Nadelförmige Gestalt können die Chromoplasten aber auch einem eingeschlossenen Eiweißkristalle verdanken. Die sonstigen Xanthophylle sind auch in den Chromoplasten stets im amorphen Zustande vertreten.

Das Karotin ist dem Chrysophyll der Chlorophyllkörper sehr nahe verwandt, wenn nicht mit ihm identisch. Sein Spektrum unterscheidet sich von jenem des Chlorophylls nur dadurch, daß seine Absorptionsbänder ganz wenig gegen das violette Ende verschoben sind ([25]).

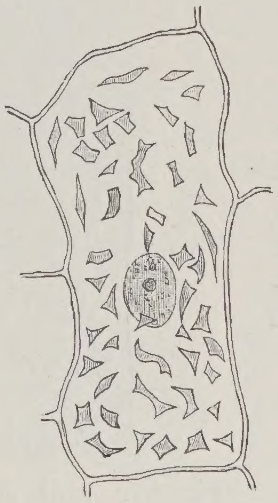


Fig. 64. Zelle mit Chromatophoren von der Oberseite des gelb gefärbten Kelches der Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus). Vergr. 540.

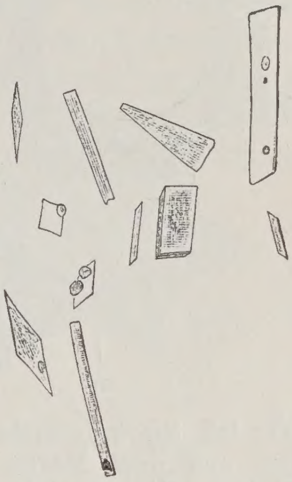


Fig. 65. Farbkörper aus der Möhre, zum Teil mit Stärkeeinschlüssen. Vergr. 540.

Anlage und Bau der Zellhaut ([26]). Die Zellhaut, welche die pflanzlichen Protoplasten umgibt, ist ein Produkt des Protoplasma. Viele niedere Gewächse aus der Abteilung der Algen entlassen aus ihren Zellen nackte Protoplasten (Fig. 96 *A*), die als Schwärmsporen der ungeschlechtlichen Vermehrung dienen. Diese Schwärmsporen setzen sich alsbald fest, scheiden eine dünne Zellhaut auf ihrer Oberfläche aus und verlängern sich dann weiter meist zu einem Zellfaden. Auch die höher organisierten Pflanzen beginnen ihre Entwicklung als nackte Eizelle, die ohne Zellhaut ist und erst nach vollzogener Befruchtung eine solche erhält. Auf allen folgenden Entwicklungszuständen sind die pflanzlichen Zellen von Zellhäuten (Zellwandungen, Membranen) umgeben. Daher fanden wir auch schon die Zellen der Vegetationspunkte durch äußerst dünne Wandungen voneinander getrennt. Bei der raschen Vermehrung der Zellen, die dort erfolgt, werden neue Scheidewände zwischen die vorhandenen fortdauernd eingeschaltet. Das ausgiebige Längenwachstum, das sich in einiger Entfernung von den Vegetationspunkten einzustellen pflegt, muß von einem entsprechenden Flächenwachstum der Zellhäute begleitet sein. Während dieses Flächenwachstums bleiben die Zellhäute dünn. Nachdem aber die Zellen ihre definitive Länge erreicht haben, stellt sich für gewöhnlich ein Dicken-

wachstum ihrer Zellhäute ein. Das Flächenwachstum der Zellhaut ist entweder mit Substanzeinlagerung verbunden, oder erfolgt ohne diese. Im letzteren Falle muß die Zellhaut dünner werden, doch findet dann ihre Verstärkung durch Anlagerung neuer Membranlamellen statt. Das Wachstum durch Substanzeinlagerung wird als Intussusceptionswachstum, dasjenige durch Substanzanlagerung als Appositionswachstum bezeichnet. Das spätere Dickenwachstum der meisten Zellhäute erfolgt durch Substanzanlagerung und zwar durch Anlagerung neuer Membranlamellen. So kommt die Schichttung solcher Membranen zu stande (Fig. 66). Es wechseln dann in ihnen im allgemeinen dickere, dichtere, mit dünneren, weniger dichten Schichten ab. Die dichteren Schichten zeichnen sich durch stärkere Lichtbrechung aus. In manchen Fällen werden durch Apposition angelegte Lamellen weiter durch Intussusception verstärkt, wobei sie auch Strukturänderungen erfahren können. Nicht selten ist in stärker verdickten Zellhäuten, besonders den Zellen des Holzes, eine Sonderung in drei, ihrem optischen und ihrem chemischen Verhalten nach verschiedene Schalen zu konstatieren, die sich als primäre, sekundäre und tertiäre Verdickungsschichten unterscheiden lassen. Am stärksten pflegt dann die sekundäre Verdickungsschicht entwickelt zu sein, sie bildet die Hauptmasse der Wandung. Die innerste Verdickungsschicht einer Zellhaut ist meist stärker lichtbrechend und wird als Grenzhäutchen oder Innenschicht bezeichnet.

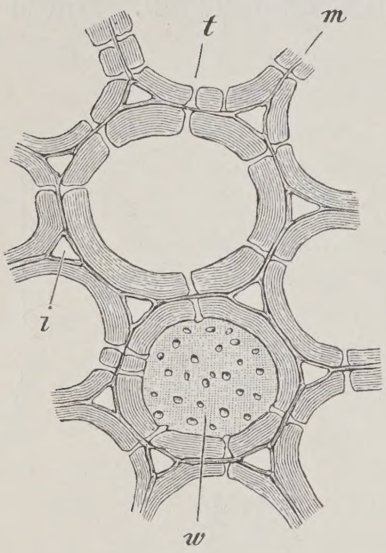


Fig. 66. Stark verdickte Zellen aus dem Marke eines älteren Stammstückes von Clematis vitalba, *m* Mittellamelle, *i* Intercellularraum, *t* Tüpfel. In der einen Zelle ist die untere getüpfelte Wand *w* zu sehen. Vergr. 300.

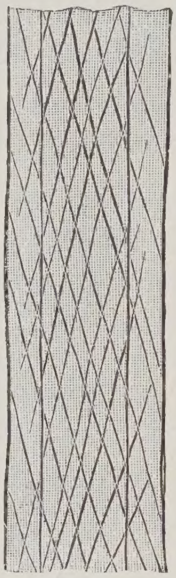


Fig. 67. Teil einer Sklerenchymfaser von Vinca major. Die Streifung der äußeren Schichten tritt deutlicher als diejenige der inneren hervor. Auch die inneren Grenzen der Wand wurden bei tieferer Einstellung in das Bild eingetragen. Vergr. 500.

Durch Quellung in starken Säuren oder Alkalien kann man oft in scheinbar homogenen Zellhäuten Schichtung nachweisen. In manchen Fällen zeigen sich die Verdickungsschichten einer Membran, wenn sie von der Fläche aus betrachtet werden, gestreift. Diese Streifen pflegen schräg zur Längsachse der Zelle aufzusteigen und zeigen in aufeinander folgenden Verdickungsschichten meist entgegengesetzte Neigung (Fig. 67). — Bei der Bildung bestimmter Fortpflanzungszellen, so der Sporen von Bryophyten, Pteridophyten und der Pollenkörner, legt jede der neu erzeugten Zellen eine eigene Zellhaut an, die getrennt von den vorhandenen Zellhäuten entsteht und weiterhin erhalten bleibt, während letztere sich lösen. Dadurch werden die erzeugten Zellen frei. Man hat einen solchen Vorgang als Vollzellbildung oder Verjüngung bezeichnet; Neubildung von Zellen liegt aber tatsächlich dabei nicht vor.

Im allgemeinen pflegt die Membran nicht gleichmäßig im ganzen Umfang der Zelle verdickt zu werden. Sie bleibt an einzelnen Stellen dünn, während die anderen Stellen in die Dicke wachsen. Es entstehen auf solche Weise Kanäle, welche die Verdickungsschichten durchsetzen. Diese Kanäle, die Tüpfel, können kreisrund (Fig. 66 bei *w*, 70 *m*), elliptisch,

oder auch spaltenförmig sein. Sie treffen in den benachbarten Zellen aufeinander und kreuzen sich dort bei spaltenförmiger Ausbildung. Die unverdickte Zellhaut, welche die aufeinander treffenden Tüpfel trennt, ist ihre Schließhaut. Nicht selten werden mehrere gesonderte Tüpfel bei fortschreitender Verdickung der Membran zu einem einzigen vereinigt. Man bezeichnet sie dann als verzweigt. Sie pflegen sehr eng zu sein und kommen vornehmlich stark verdickten und harten Zellwänden zu, wie solche für sogen. Steinzellen oder Sklereïden bezeichnend sind. Ein einfacher Tüpfel kann sich andererseits nach der primären Zellhaut hin erweitern.

Eine besondere Art sich an der Basis erweiternder Tüpfel wird in den Außenwänden mancher Ranken erzeugt(27). Diese Tüpfel sind mit Cytoplasma dicht angefüllt, dienen der Reizperception und sind als Fühltüpfel bezeichnet worden (Fig. 68 u. 69). Nach außen sich stark erweiternde Tüpfel liegen auch in den behöften Tüpfeln vor. Dieselben können einseitig oder zweiseitig behöft sein. Das erstere ist der Fall, wo der behöfte Tüpfel eines wasserleitenden Elements, das ohne protoplasmatischen Inhalt ist, an eine mit lebendigem Inhalt versehene Zelle grenzt. Dann ist der Hof am Tüpfel nur an dem wasserleitenden Element ausgebildet.

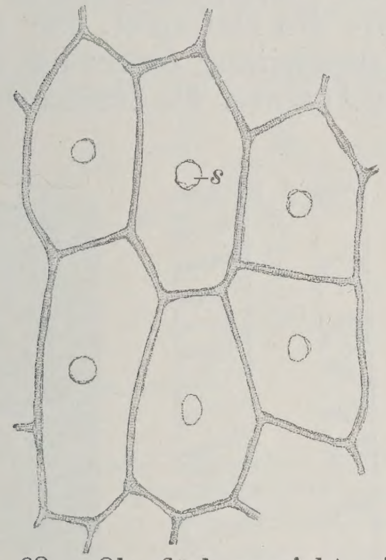


Fig. 68. Oberflächenansicht einiger Epidermiszellen der Rankenunterseite von Cucurbita Pepo mit Fühltüpfeln *s*. Vergr. 450.

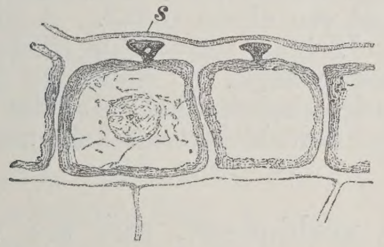


Fig. 69. Querschnitt durch ebensolche Epidermiszellen wie in Fig. 68; im Fühltüpfel *s* ein sehr kleiner Calciumoxalatkristall. Vergr. 450.

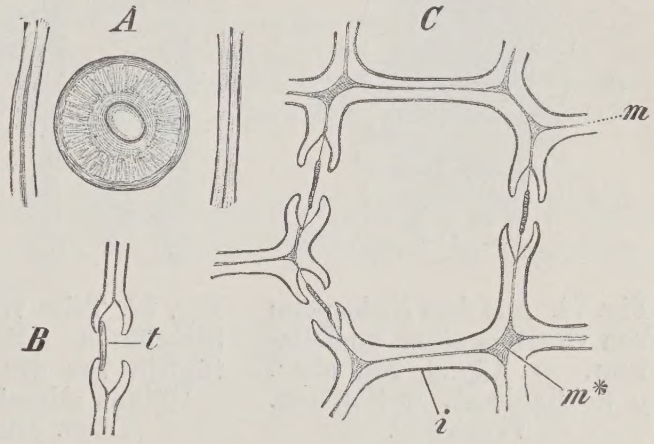


Fig. 70. Aus dem Holze der Kiefer (Pinus silvestris). *A* Hoftüpfel in Flächenansicht, *B* ein Hoftüpfel in tangentialem Längsschnitt, *t* der Torus, C Querschnitt durch eine Tracheïde, *m* Mittellamelle, *m** ein Zwickel in dieser, *i* das Grenzhäutchen. Vergr. 540.

An Tüpfeln zwischen zwei wasserleitenden Elementen, die ihrer Funktion entsprechend beide ohne protoplasmatischen Inhalt sind, wird der Hof beiderseits erzeugt. Diese Tüpfel werden meist kurzweg als Hoftüpfel (Fig. 70) bezeichnet. Die Schließhaut solcher Hoftüpfel ist in ihrer Mitte zu dem sogen. Torus verdickt (Fig. 70 *B*, *t*). Sie vermag sich nach der einen oder der anderen Seite vorzuwölben und mit ihrem Torus den engen Ausgang des Tüpfels auf der entsprechenden Seite zu verschließen (Fig. 70 *B*, *t*). Es läßt sich annehmen, dass die Hoftüpfel als Klappenventile fungieren. Betrachtet man einen Hoftüpfel von der Fläche, so erscheint er in Gestalt von zwei koncentrischen Kreisen (Fig. 70 *A*). Der kleinere innere Kreis ist die enge Mündungsstelle des Tüpfels in den Zell-

raum, der große äußere Kreis seine weiteste Stelle, mit der er an die primäre Wandung grenzt.

Vielfach zeigen sich die Schließhäute besonders weiter Tüpfel dünnwandiger Zellen durch Leisten verdickt, die ihnen ein gitterförmiges Aussehen verleihen. Eine ähnliche Verdickungsart kommt den Schließhäuten der Siebtüpfel zu, die wegen ihrer deutlichen siebartigen Durchlöcherung als Siebplatten bezeichnet werden (Fig. 72).

Bleibt der größte Teil der Membran unverdickt, so sind es ihre verdickten und nicht ihre unverdickten Stellen, welche den Charakter der Verdickung bestimmen. So, wenn die Zellwand in Abständen ringförmig verdickt wurde, oder wenn sie ein oder mehrere Schraubenbänder, oder auch ein Netzwerk, als Verdickung erhielt (Fig. 73). Auch ring-, schrauben- und netzförmige Wandverdickungen kommen, wie die Hoftüpfel, nur den, ihren lebenden Inhalt bald einbüßenden, der Wasserleitung dienenden Elementen zu. Diese Wandverdickungen haben die Aufgabe, die mechanische

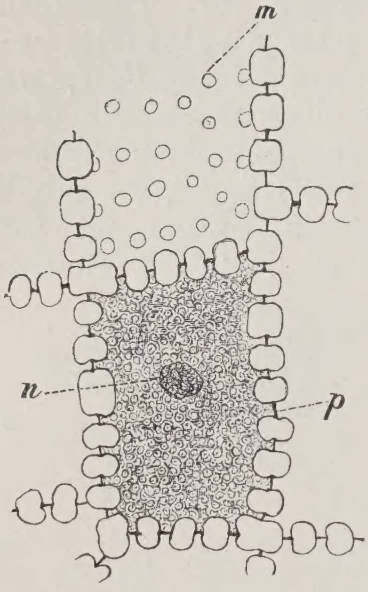


Fig. 71. Aus dem Endosperm von Ornithogalum umbellatum, *m* Tüpfel von oben, *p* Schließhaut, *n* Zellkern. Vergr. 240.

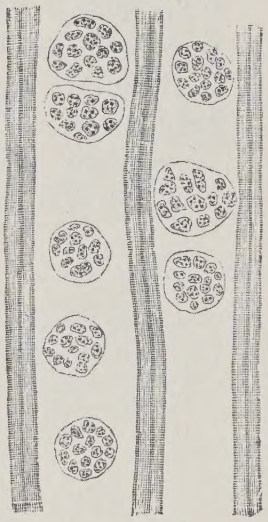


Fig. 72. Teile von zwei Siebröhren mit Siebtüpfeln von der Kiefer (Pinus silvestris). Vergr. 540.

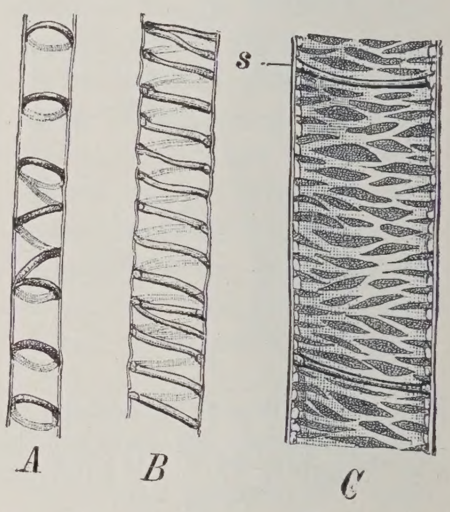


Fig. 73. Teile von Tracheïden und von einem Gefäß. *A* Ring- und Schraubentracheïde, *B* Schraubentracheïde. *C* Netzgefäß halb aufgeschnitten, bei *s* eine der beiden durchlöcherten Scheidewände. Vergr. 240.

Festigkeit jener Elemente zu erhöhen und es zu verhindern, daß sie von benachbarten lebenden Zellen zusammengedrückt werden.

Die Verdickungsleisten, durch welche diese Wandverdickungen bedingt werden, sind mit verschmälerter Kante [28] der primären Wandung angefügt. Die dünnen Membranstellen zwischen den Leisten verhalten sich wie die Schließhäute der Tüpfel, und sind, wenn sie zwei wasserleitende Elemente trennen, in der Mitte, wie der Torus der Hoftüpfel, etwas verdickt. Nur die mit ring- oder spiralförmigen Verdickungsleisten versehenen Elemente sind dehnbar, und daher in wachsenden Pflanzenteilen zuerst als Wasserbahnen angelegt. Die schraubenförmigen Verdickungsleisten sind abrollbar, weil sie infolge ihrer schmalen Insertion an der primären Wandung sich leicht von jener ablösen können.

In gewissen lebendigen Zellen, die man als Kollenchymzellen bezeichnet, wird die Zellwandung vornehmlich an den Kanten verdickt (Fig. 74 *c*). An den die Außenfläche der Pflanzen einnehmenden Oberhautzellen pflegt die Außenwandung meist allein verdickt zu sein (Fig. 74 *e*).

Besonders auffällig wird eine ungleichmäßige Wandverdickung, wenn sie auf eng begrenzte Punkte beschränkt bleibt; so bei der Bildung von Cystolithen. In den Blättern des Gummibaumes (Ficus elastica) enthalten bestimmte, besonders große Zellen

solche Cystolithen in Gestalt je eines traubenförmig gestalteten Körpers (Fig. 75). Dieser Körper entsteht durch Verdickung einer einzigen Wandstelle. Es wird zunächst ein dünner Stiel und dann an dessen Ende, durch Auflagerung neuer Lamellen, ein keulenförmiger Körper gebildet, der schließlich vorspringende Warzen erhält.

Bis jetzt waren es centripetal erzeugte Verdickungen an der Innenseite der Membranen, die wir ins Auge faßten, doch kommen auch centrifugale an deren Außenseite vor, naturgemäß beschränkt

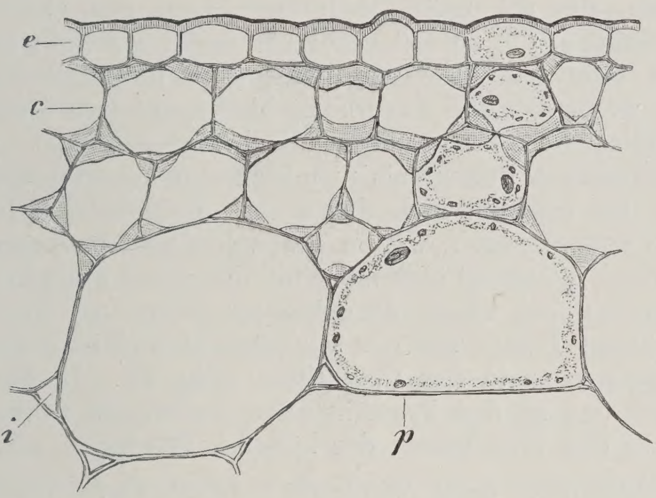


Fig. 74. Querschnitt aus der Peripherie eines Stengels von Impatiens parviflora. *c* Kollenchym, *e* Epidermis, *p* dünnwandige Parenchymzellen, *i* Intercellularraum. Vergr. 300.

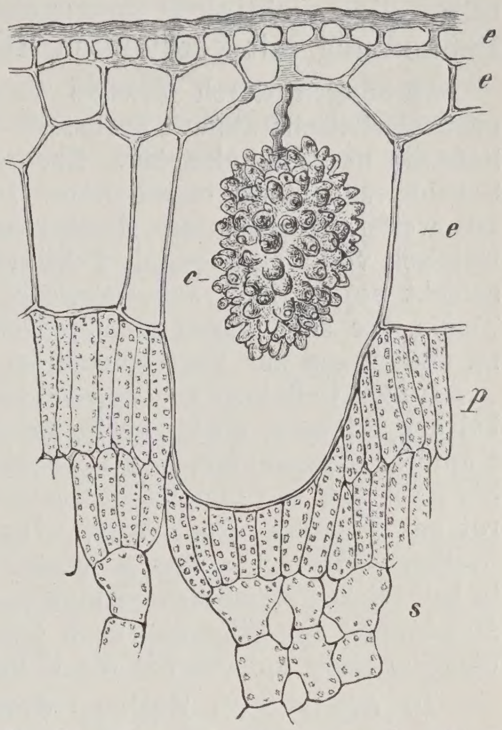


Fig. 75. Querschnitt durch das Blatt von Ficus elastica. *c* Cystolith, *eee* dreischichtige Epidermis, *p* Palisadenparenchym, *s* Schwammparenchym. Vgr. 240.

auf freie Oberflächen der Zellen. Kleine vorspringende Höcker sind an den Außenseiten der meisten Haare zu sehen; in besonders mannigfaltiger Ausbildung werden aber solche centrifugale Verdickungen an Sporen und Pollenkörnern erzeugt (Fig. 76). Sie bilden an deren Oberfläche Stacheln, Warzen, Leisten, Netze oder Bänder von charakteristischem Bau.

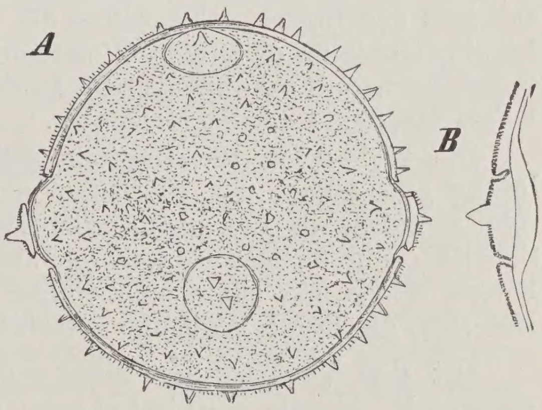


Fig. 76. *A* Pollenkorn von Cucurbita Pepo in Flächenansicht und zum Teil auch im optischen Durchschnitt. Das Präparat war mit Zitronenöl durchsichtig gemacht worden. Vergr. 240. *B* Teil eines Querschnittes durch das Pollenkorn von Cucurbita verrucosa. Vergr. 540.

Membranstoffe (29). Der wichtigste Bestandteil pflanzlicher Membranen ist die Cellulose. Sie findet sich in den Membranen aller Pflanzen vor, ausgenommen der meisten Pilze.

Die Cellulose ist ein Kohlehydrat von der allgemeinen Zusammensetzung $(C^6H^{10}O^5)n$. Sie ist unlöslich in verdünnten Säuren und Alkalien, löslich, mit Umwandlungen in Dextrose, in koncentrierter Schwefelsäure. Nach vorausgegangener Behandlung mit Schwefelsäure oder Phosphorsäure wird die Cellulose durch Jod blau gefärbt, ebenso bei gleichzeitiger Einwirkung der koncentrierten Lösungen bestimmter Salze, wie Chlorzink oder Chloraluminium, und von Jod. Daher ist das gebräuchlichste Reagens, um Blaufärbung der Cellulose zu erzielen, Chlorzinkjodlösung. Gilson (30) erhielt die Cellulose im kristallinischen Zustande in Form von Sphäriten oder kristallinischen Dendriten.

In keinem Falle bestehen die pflanzlichen Membranen aus reiner Cellulose, sie enthalten stets in erheblichen Mengen noch andere Substanzen, die sich mit Chlorzinkjodlösungen nicht bläuen. Unter diesen spielen in unverholzten Membranen eine Hauptrolle die Pektinverbindungen. Sie sind durch die Leichtigkeit ausgezeichnet, mit der sie sich, nach vorausgegangener Behandlung mit verdünnten Säuren, in Alkalien lösen.

Färbungen durch gewisse Farbstoffe, z. B. durch Kongorot, sind für Cellulose charakteristisch; andere Farbstoffe färben intensiver die Pektinverbindungen, so z. B. das Safranin und Methylenblau. Nach MANGIN (29) besteht die bei der Zellteilung angelegte Scheidewand höher organisierter Pflanzen fast ausschließlich aus Pektinverbindungen. Die weiterhin erzeugten Membranlamellen, die sekundäre Membranschicht, aus einem Gemisch von Cellulose mit Pektinverbindungen, die zuletzt gebildete tertiäre Membranschicht vornehmlich aus Cellulose. Die Pektinverbindungen nehmen in den äußeren Teilen der sekundären Membranschicht, wenn dieselbe unverholzt bleibt, mit dem Alter zu und tragen zur Verstärkung der Mittellamelle oder primären Membranschicht bei.

Außer Cellulose und den Pektinverbindungen kommt als membranbildende Substanz bei den Pflanzen Kallose in Betracht. Sie zeichnet sich durch ihre Unlöslichkeit in Kupferoxydammoniak, ihre Löslichkeit in Sodalösung, sowie in 1% kalter Kalilauge aus. Sie färbt sich in Chlorzinkjodlösung rotbraun, glänzend blau mit Anilinblau und glänzend rot mit Korallin (Rosolsäure). Ihr Auftreten bei höher organisierten Pflanzen ist auf bestimmte Elemente eingeschränkt; sie bildet Belege auf den Siebtüpfeln und ist stets in kalkreichen Membranschichten nachzuweisen, so in den Cystolithen (Fig. 75). In den Membranen der Pilze soll nach GILSON (31) das zu den Proteïnstoffen gehörende Chitin dieselbe Rolle spielen wie die Cellulose in den Membranen der höheren Pflanzen.

In denjenigen Zellen, deren Membran sich verholzt oder verkorkt zeigt, ist es vor allem die sekundäre Membranschicht, welche den Holzstoff oder den Korkstoff enthält. Die tertiäre Membranschicht weist in den meisten Fällen Cellulosecharakter auf.

Die Verholzung beruht auf der Einlagerung verschiedener Stoffe in die Membran, unter welchen nach CZAPEK (32) ein aromatisches Aldehyd, das er Hadromal nennt, nie fehlen soll. Zu diesem Körper bringt CZAPEK auch das Koniferin in Beziehung, das sich aus jüngstem Holz gewinnen läßt. Das Vorhandensein von Vanillin in verholzten Membranen stellt er in Abrede. Das Hadromal beträgt nicht mehr als 1—2% der Trockensubstanz des Holzes. Ihm sollen die verholzten Membranen die sogen. Holzstoff- oder Lignin-Reaktion, d. h. eine Violettfärbung mit Phloroglucin und Salzsäure und eine Gelbfärbung mit schwefelsaurem Anilin verdanken. Mit Chlorzinkjodlösung werden verholzte Membranen gelb, nicht blau.

Die verkorkten Membranteile enthalten Suberin. Sie nehmen mit Chlorzinkjodlösung gelbbraune, mit Kalilauge eine gelbe Färbung an. Nach VAN WISSELINGH (33 fehlt Cellulose in den verkorkten Membranschichten und ist der Korkstoff oder das Suberin ein fettartiger Körper, der aus Glycerin-Estern und anderen zusammengesetzten Estern, sowie aus einer oder einigen nicht schmelzbaren, in Chloroform unlöslichen Materien, die durch Kalilauge zersetzt werden können, besteht.

Mit der Verkorkung nicht völlig übereinstimmend, wenn ihr auch nahe verwandt, ist die Cutinisierung. Sie beruht auf einer nachträglichen Einlagerin von Cutin in cellulosehaltige Membranen.

VAN WISSELINGH gibt an, daß die Phellonsäure, welche in Suberin stets vorhanden ist, im Cutin konstant fehlt. Das Verhalten des Cutins sowohl als des Suberins variiert übrigens etwas je nach seiner Abstammung. Das Cutin widersteht besser der Kalilauge. Die Färbungen, welche cutinisierte Membranen mit Chlorzinkjodlösung oder mit Kalilauge annehmen, stimmen annähernd mit jenen verkorkten Membranen überein, auch werden beide durch Schwefelsäure und Kupferoxydammoniak nicht gelöst.

Ganz junge Membranen sind wenig elastisch, dagegen verhältnismäßig stark dehnbar, später pflegt sich dieses Verhältnis meist umzukehren. Durch Verholzen steigt die Widerstandsfähigkeit der Membranen. Cutinisierte und

verkorkte Membranen setzen die Verdunstung an der Oberfläche der Pflanzen stark herab(34).

Die Membranschichten bestimmter Zellen, im besonderen an der Oberfläche einiger Früchte und zahlreicher Samen, wie der Salbeifrüchte, der Lein- und Quittensamen, verquellen bei Berührung mit Wasser zu Schleim. Nach G. Klebs (35) hat dieser Schleim vor allem die Aufgabe, die Samen im Boden zu befestigen. Feste Zellmembranen können andererseits nachträglich in Gummi umgewandelt werden, so besonders auffällig bei Kirschen und Akazien, wo große Partien des Holzkörpers der sogen. Gummosis verfallen.

Die Gummi- und Schleimarten verhalten sich verschieden, je nachdem sie von Cellulose oder von Kallose oder von Pektinverbindungen abstammen, beziehungsweise mit einem dieser Körper verwandt sind. Mikrochemisch wird ihre Unterscheidung jetzt nach Mangin durch Anwendung von Rutheniumrot möglich, das nur die von Pektinstoffen abstammenden, beziehungsweise denselben nahe stehenden Gummiarten und Schleime, so die Schleime der Cruciferen- oder Quitten- (Cydonia-) Samen, die Schleime aus den Schleimzellen der Malven, das Gummi der Kirschen und Akazien, das Traganthgummi von Astragalus gummifer färbt, während der Schleim der Orchis-Knollen, der mit Cellulose verwandt ist, ungefärbt bleibt.

In den Samen mancher Palmen, so auch des Fig. 71 dargestellten Ornithogalum, werden die Zellwände mit starken, reichlich von Tüpfeln durchsetzten Verdickungsschichten versehen. Diese Verdickungsschichten sind glänzend weiß; sie können eine solche Härte erreichen, daß ihre technische Verwertung als „vegetabilisches Elfenbein" möglich wird, so in den Samen der Palme Phytelephas macrocarpa. Sie enthalten außer Cellulose noch andere Kohlehydrate, so bei Tropaeolum und Paeonia Amyloid, welches Jodlösung blau färbt. Bei der Keimung werden diese Verdickungsschichten aufgelöst, sie bilden somit einen Reservestoff des Samens.

Häufig werden die Membranen nachträglich gefärbt durch Derivate von Gerbstoffen, vielfach sehr dunkel, so in Samenschalen, in älterem Holz. Auch die Farbstoffe der technisch benutzten Farbhölzer haben ihren Sitz in den Membranen. — In jeder älteren Membran sind anorganische Stoffe eingelagert, unter Umständen in bedeutender Menge. Besonders häufig trifft man in solchen Membranen Calciumoxalat an und zwar in Kristallen, außerdem, wenn auch weniger häufig, Calciumkarbonat. In den Cystolithen von Ficus elastica (Fig. 75) ist so viel Calciumkarbonat eingelagert, daß bei Zusatz von Säure ein Aufbrausen erfolgt. Manche Pflanzen, so die meisten Characeen unserer Seen und Teiche, enthalten solche Mengen Calciumkarbonat in ihren Membranen, daß sie starr und brüchig davon werden. — Kieselsäure ist in den peripherischen Zellwänden der Gräser, Schachtelhalme (Equiseten) und vieler anderer Pflanzen vertreten und verleiht ihnen dann meist eine sehr beträchtliche Härte.

Durch wasserentziehende Mittel kann eine Kontraktion der Protoplasten und so ihre Trennung von der Zellhaut veranlaßt werden (s. Plasmolyse S. 142). Solche Protoplasten vermögen unter Umständen sich mit einer neuen Zellhaut zu umgeben. Die Entfernung der Cuticula, beziehungsweise auch von Cuticularschichten, so wie von Wachsüberzügen von der Oberfläche bestimmter Pflanzen (Agaven, Aloë-Arten, Ricinus, Sedum) hat deren Regeneration zur Folge (35a).

Gestalt der Zelle. Da das Cytoplasma als zähflüssiger Körper dazu neigt, im Gleichgewichtszustand Tropfenform anzunehmen, kann die Kugelgestalt auch als die ursprünglichste und naturgemäßeste Zellform gelten. Sie wird aber nur an frei lebenden oder frei werdenden Zellen, oder an solchen, die in ihrer Ausdehnung ganz ungehindert bleiben, sich ausbilden können. Im Zellverbande erzeugte Zellen sind zunächst fast stets polygonal. Bei nachträglichem Wachstum verändern sie ihre Gestalt. Die kubischen Zellen der Vegetationspunkte strecken sich zu langprismatischer Form, oder

sie bleiben kurz tafelförmig. Ist das Wachstum der Zellen auf einzelne regelmäßig verteilte Stellen ihrer Oberfläche beschränkt, so werden sie sternförmig; bei ungleichmäßiger Verteilung dieser Stellen entsprechend unregelmäßig. Infolge eines sehr ergiebigen Längenwachstums können faserförmige, an den Enden zugespitzte Zellen entstehen. Werden solche Fasern stark verdickt, so heißen sie Sklerenchymfasern (Fig. 77 *A*). Diese zeigen meist nur spärliche, schräg aufsteigende, spaltenförmige Tüpfel in der stark verdickten Wandung, führen im fertigen Zustande nur wenig lebendigen Inhalt, oder überhaupt nur noch Luft. Ist letzteres der Fall, so dienen sie nur als sogen. mechanische Elemente (Stereïden) zur Festigung des Pflanzenkörpers. Für gewöhnlich kürzer, doch vor allem weiter, an ihren Enden nicht zugespitzt, sondern meist nur zugeschärft, mit Hoftüpfeln versehen und im fertigen Zustande stets ohne lebendigen Inhalt, sind die Tracheïden (Fig. 77 *B*). Die Tracheïden dienen der Wasserleitung in der Pflanze. So lange sie tätig sind, enthalten sie Wasser und nur vereinzelte Luftblasen; wenn sie außer Funktion treten, füllen sie sich mit Luft. Besonders stark gestreckte und verdickte, zugleich englumige Tracheïden, die meist nur noch, so wie die Sklerenchymfasern, mechanische Funktionen vollziehen, werden als Fasertracheïden bezeichnet. Sehr lange, doch weitlumige, zugleich dünnwandige Tracheïden, wasserführend wie die typischen Tracheïden, lassen sich von ihnen als Gefäßtracheïden (Fig. 77 *C*) unterscheiden. Die Gefäßtracheïden sind durch ringförmige, schraubenförmige oder netzförmige Verdickung der Wände ausgezeichnet, oder auch mit Hoftüpfeln versehen. Die Verdickungsschichten der Sklerenchymfasern sind unverholzt oder verholzt, der Tracheïden stets verholzt.

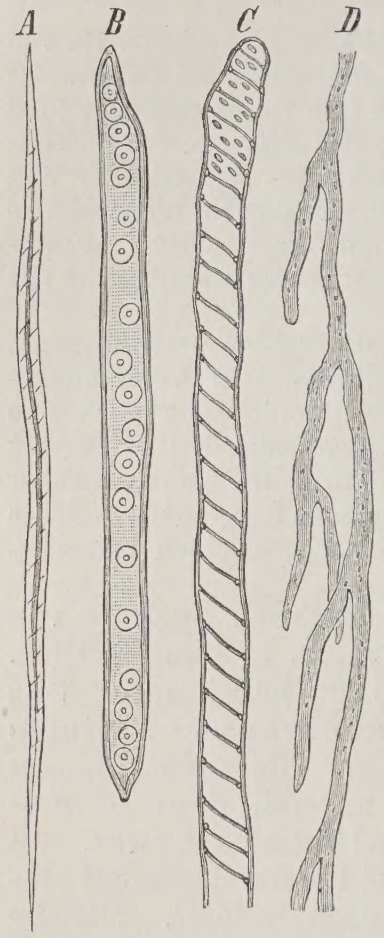


Fig. 77. *A* eine Sklerenchymfaser, *B* eine Tracheïde, *C* Stück einer Gefäßtracheïde, *D* Stück einer Milchröhre. *A*, *B* und *C* etwa 100 mal, *D* etwa 150 mal vergrößert.

Von allen Zellen im Körper der höher organisierten Pflanzen erlangen die bedeutendste Länge die Milchröhren. So gehen bei den Euphorbiaceen, Moraceen, Apocynaceen und Asclepiadaceen Zellen hervor, die sich schon in der Keimpflanze differenzieren. Diese Zellen wachsen dann weiter mit der ganzen Pflanze, verzweigen sich fort und fort, dringen in alle ihre Glieder ein und können so unter Umständen viele Meter durchlaufen. Sie stellen Röhren vor, welche mit einer meist unverdickten, glatten, elastischen Wand versehen sind, die auf Cellulose reagiert. Sie besitzen ([35 b]) einen lebenden Wandbeleg aus Cytoplasma und zahlreiche Zellkerne; als Zellsaft führen sie eine milchige, meist weiße, wäßrige Flüssigkeit, welche an der Luft rasch gerinnt, die Gummiharze, d. h. Gemenge von Gummi und Harz, Kautschuk, Fett und Wachs in Emulsion hält, außerdem Enzyme, Leptomin, Gerbstoffe, manchmal giftige Alkaloide, Salze, besonders Kalkmalat, bei Ficus Carica und Carica Papaya auch peptonisierende Fermente, in Lösung führt, vielfach Proteïnkörner, bei den Euphorbiaceen auch knochenförmige Stärkekörner aufweist. In Fig. 77 *D* ist ein Stück freigelegter Milchröhre aus dem Stengel der Asclepiadacee Ceropegia stapelioides dargestellt.

Einzelne Zellen, die sich durch ihre Gestalt, ihren Inhalt oder ihre Wandverdickung von ihren Nachbarn unterscheiden, werden als Idioblasten bezeichnet. Sind sie stark verdickt und verholzt, so heißen sie Steinzellen oder Sklereïden. In manchen Fällen enthalten sie Fermente, so bei Cruciferen und einigen anderen Pflanzenfamilien in schlauchartigen Behältern das Myrosin, beim Kirschlorbeer (Prunus Laurocerasus) Emulsin. Meist führen sie Exkrete: Gerbstoff, Calciumoxalat. Einen Idioblasten, der Kristallnadeln von Calciumoxalat (Raphidenbündel S. 66) führt, stellt unsere Fig. 84 vor. Es gibt auch tracheïdal entwickelte Idioblasten, die als Wasserbehälter fungieren, so zwischen den chlorophyllhaltigen Zellen in den Blättern einiger Orchideen und in Cactaceen.

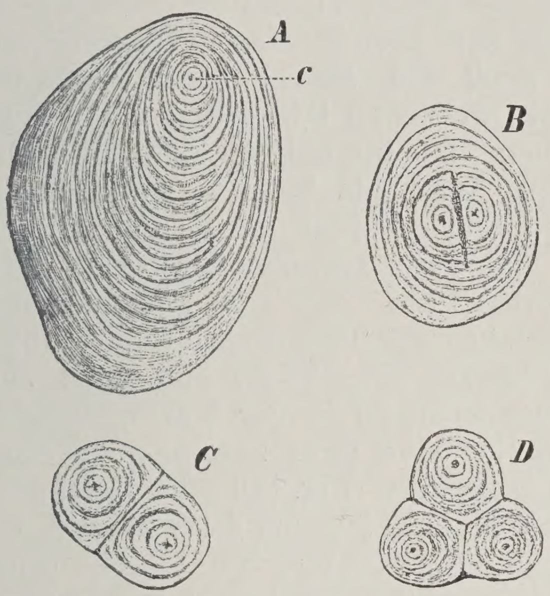


Fig. 78. Stärkekörner aus der Kartoffelknolle. *A* ein einfaches, *B* ein halb zusammengesetztes Stärkekorn, *C* und *D* ganz zusammengesetzte Stärkekörner, *c* der Bildungskern des Stärkekornes. Vergr. 540.

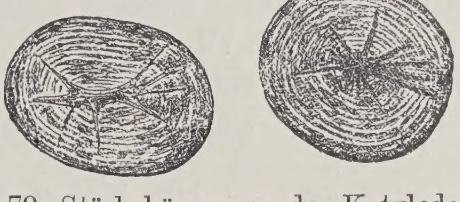


Fig. 79. Stärkekörner aus den Kotyledonen von Phaseolus vulgaris. Vergr. 540.

Fig. 80. Stärkekörner des Hafers (Avena sativa). Ein zusammengesetztes Korn und Teilkörner aus einem solchen. Vergr. 540.

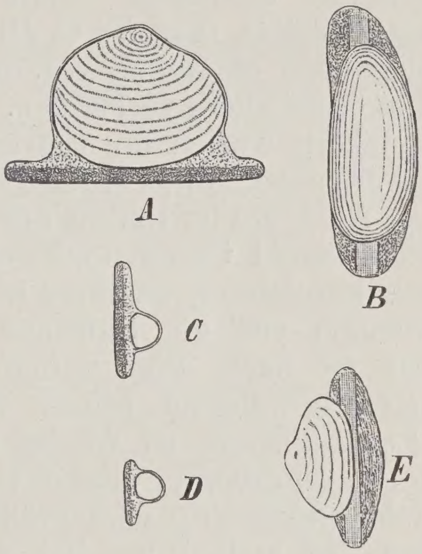


Fig. 81. Leukoplasten aus der oberirdischen Knolle von Phajus grandifolius. *A*, *C*, *D* und *E* von der Seite, *B* von oben gesehen, *E* schon grünlich gefärbt, eine Übergangsform zu den Chloroplasten. Vergr. 540.

Einschlüsse des Protoplasma. Stärkekörner. In Pflanzen, die den Einwirkungen des Lichtes ausgesetzt waren, enthalten die Chloroplasten meist Stärkekörner. Diese Körner entstehen hier als erstes geformtes Produkt der Assimilation aus anorganischen Stoffen, sie treten in Mehrzahl auf und werden fortgesetzt auch wieder gelöst, bleiben daher sehr klein. Große Stärkekörner findet man nur in den Reservestoffbehältern, also dort, wo Stärke aus zugeführter, assimilierter Substanz hervorgeht. Solche Stärke bezeichnet man als Reservestärke im Gegensatz zu der in den Chloroplasten entstehenden Assimilationsstärke. Alle Stärke des Handels ist Reservestärke. Die Kartoffelknollen, die wir bereits als Reservestoffbehälter kennen gelernt haben (S. 19), führen verhältnismäßig große Stärkekörner, welche

im Mittel die Größe von 0,09 mm erreichen. Sie sind (Fig. 78 *A*) deutlich geschichtet. Diese Schichtung wird durch die verschiedene Dichte der Schichten verursacht und zwar wechseln dickere, dichtere Schichten, die im durchfallenden Lichte heller erscheinen, mit dünneren, weniger dichten, die dunkler erscheinen, ab. Der Bau dieser Stärkekörner ist excentrisch, denn ihr organischer Initialpunkt oder Bildungskern, um den die Schichten sich lagerten, ist dem einen Rande des Kornes bedeutend genähert. Dagegen sind die Stärkekörner der Hülsenfrüchte und der Getreidearten centrisch gebaut; sie führen ihren Bildungskern in der Mitte. Die Stärkekörner der Bohne (Phaseolus vulgaris) stellen abgeflachte Kugeln oder Ellipsoide dar (Fig. 79) mit deutlichen Schichten, die meist von radialen Spalten durchsetzt sind. Die Stärkekörner des Weizens sind sehr ungleich groß, undeutlich geschichtet, scheibenförmig. — Schon der Vergleich der gleich stark vergrößerten Figuren 78 und 79 zeigt, wie ungleich groß die Stärkekörner verschiedener Pflanzen sind. Ihre Größe schwankt zwischen 0,002 und 0,170 mm. Stärkekörner, welche 0,170 mm erreichen, so diejenigen des Rhizoms von Canna, sind schon mit dem bloßen Auge als helle Körperchen zu unterscheiden. — Die bisher betrachteten Stärkekörner waren einfach; es gibt aber auch halb zusammengesetzte und ganz zusammengesetzte. Die ersteren weisen zwei oder mehr Teilkörner auf, die von gemeinsamen Schichten umgeben sind, die letzteren bestehen aus Teilkörnern allein, ohne gemeinsame Schichten. Halb zusammengesetzte (Fig. 78 *B*) und ganz zusammengesetzte (Fig. 78 *C*, *D*) Stärkekörner kommen in der Kartoffelknolle zwischen den einfachen vor, in anderen Fällen sind ganz zusammengesetzte Stärkekörner allein vorhanden, so z. B. im Haferkorn (Fig. 80) oder Reiskorn. Im Reiskorn weisen die Stärkekörner nach Nägeli ([36]) von 4 bis zu 100, im Haferkorn gelegentlich bis zu 300, bei Spinacia glabra bis über 30000 Teilkörner auf. — Auch die im Innern der Pflanze aus assimilierter Substanz entstehende Stärke braucht Chromatophoren, die man als Stärkebildner oder Leukoplasten bezeichnet, zu ihrer Bildung. Bleibt das Stärkekorn während seines Wachstums von der Substanz des Leukoplasten gleichmäßig umgeben, so wächst es nach allen Seiten gleich stark, und erhält centrischen Bau. Kommt es während seines Wachstums in peripherische Lage innerhalb des Leukoplasten, so wächst es stärker dort, wo die Substanz des Leukoplasten in größerer Dicke vorhanden ist, und wird excentrisch (Fig. 81). Entsteht gleichzeitig eine größere Zahl von Stärkekörnern in einem Leukoplasten, so stoßen sie bei weiterem Wachstum aufeinander und bilden ein zusammengesetztes Korn, das zu einem halb zusammengesetzten sich ausbildet, wenn hierauf gemeinsame Schichten um die Teilkörner abgelagert werden.

Die Stärkekörner werden für kristallinische Gebilde, Sphärokristalle oder Sphärite erklärt ([37]), die aus feinen radial angeordneten Kristallnadeln aufgebaut sind, welche Arthur Meyer als Trichite bezeichnet. Die Schichtung gilt Letzterem als Ausdruck von Verschiedenheiten der Form und Menge der Kristallnadeln in den einander aufgelagerten Schichten. Dagegen sucht H. Fischer ([38]) diese Schichtenbildung auf radial gestellte, zonenförmig angeordnete, wasserführende Spalten zurückzuführen, die in einiger Entfernung von der gleichmäßig fortwachsenden Oberfläche durch innere Zusammenziehung der Substanz sich bilden sollen. Ganz neuerdings tritt wiederum Henry Kraemer ([38 b]) für das Vorhandensein einer kristalloidalen und einer colloidalen Substanz in den Stärkekörnern ein, wobei das Mengenverhältnis beider in den aufeinander folgenden Lamellen wechselt. In einzelnen Fällen will Arthur Meyer festgestellt haben, daß die Schichtung dem Wechsel der Tag- und Nachtzeiten, und der durch diesen Wechsel bedingten Verschiedenheit der Ernährung entspricht. In das Wachstum der Stärkekörner greifen auch Lösungsvorgänge ein, wodurch peripherische Schichten zum

Teil wieder entfernt werden können, dann nicht mehr vollständig das ganze Korn umgeben. — Die Stärkekörner werden aus Kohlehydraten von der Zusammensetzung $(C^6H^{10}O^5)n$ aufgebaut. Die meisten Stärkekörner enthalten nur Amyloid und zwar in einer in Wasser von 100° C. flüssig werdenden und einer, in ebensolchem Wasser sich nicht verflüssigenden Modifikation. Viele Stärkekörner enthalten außer diesem Amyloid auch Amylodextrin. In bestimmten Fällen, so beim Klebreis (Oryza sativa var. glutinosa) und der Klebhirse (Sorghum vulgare glutinosum), bestehen die Stärkekörner vorwiegend aus Amylodextrin. Während die amyloidreichen Stärkekörner durch Jodlösungen blau gefärbt werden, nehmen die amylodextrinreichen Stärkekörner dann weinrote Färbung an. In Wasser von 60—70° C. verquellen die Stärkekörner, weil die leichter lösliche der beiden Amylosen nach Arthur Meyer dann in zähe Tropfen verwandelt wird; bei 138° C. gehen die Stärkekörner ganz in Lösung. Bei gewöhnlicher Temperatur verquillt Stärke leicht in Kali- oder Natronlauge. Ohne Zusatz von Wasser erhitzt, d. h. geröstet, geht Stärke in Dextrin über, wird in Wasser relativ leicht löslich und damit verdaulicher. Im polarisierten Lichte zeigen die Stärkekörner, wie die anorganischen Sphärite, ein dunkles Kreuz. Diese Erscheinung wird meist auf die Doppelbrechung der das Stärkekorn aufbauenden Elemente zurückgeführt.

Die Menge der in einem Reservestoffbehälter vertretenen Stärke ist oft sehr bedeutend, sie beträgt etwa 25% des Gesamtgewichts bei der Kartoffelknolle und sogar bis 70% beim Weizen. Die aus Reservestoffbehältern befreiten Stärkekörner bilden das, was man als Stärkemehl bezeichnet. Reines Stärkemehl gewinnt man durch Auswaschen aus den zerkleinerten Pflanzenteilen. Bei Darstellung des gewöhnlichen Mehls werden hingegen auch die das Stärkemehl führenden Gewebe zermahlen.

Aleuron. In den Samen zahlreicher Gewächse, ganz besonders aber in ölreichen Samen, werden Aleuronkörner oder Klebermehlkörner erzeugt. Sie gehen aus Vakuolen hervor, deren Inhalt sehr eiweißreich wird und schließlich bei Wasserverlust in Form eines rundlichen Korns, nur in einzelnen Fällen eines unregelmäßigen, selbst gelappten Gebildes erhärtet. Ein Teil des Eiweißes kristallisiert in vielen Fällen bei diesem Vorgang aus und bildet ein, selten einige im Aleuronkorn eingeschlossene Kristalle. In Aleuronkörnern, die Eiweißkristalle bergen, finden sich meist auch rundliche Körner, die sogen. Globoide vor, in welchen, nach Pfeffer (39), Magnesia, Kalk, und eine gepaarte Phosphorsäure im Verein mit organischer Substanz sich nachweisen lassen. Auch Kristalle von Calciumoxalat können in Aleuronkörnern eingeschlossen sein.

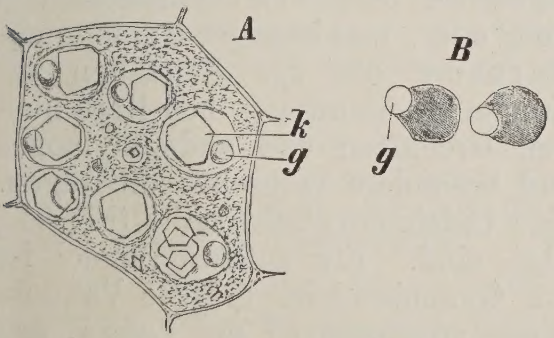


Fig. 82. *A* Zelle aus dem Endosperm von Ricinus communis unter Wasser beobachtet, *B* einzelne Aleuronkörner unter Olivenöl, *k* Eiweißkristalle, *g* Globoid. Vergr. 540.

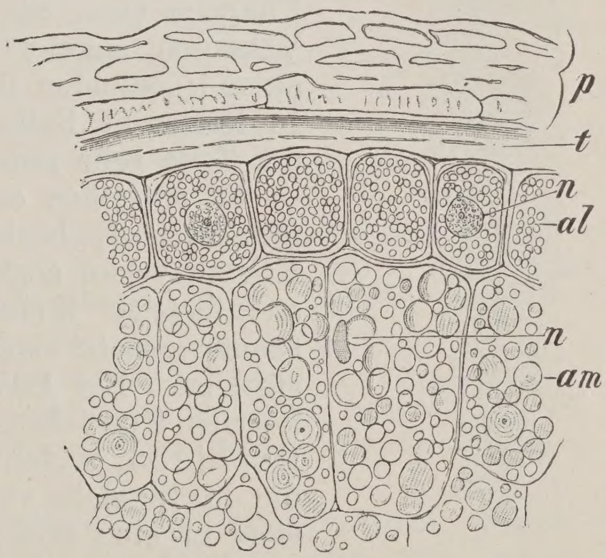


Fig. 83. Außerer Teil eines Querschnittes durch ein Weizenkorn (Triticum vulgare). *p* Fruchthülle, *t* Samenhaut. An die Samenhaut schließt das Endosperm an. In diesem *al* Aleuronkörner, *n* Zellkern, *am* Stärkekörner. Vergr. 240.

Als Beispiel für Aleuronkörner mit Eiweißkristallen und Globoiden kann der Same von Ricinus (Fig. 82) dienen. Dort sind diese Körner in ein Cytoplasma eingebettet, das reiche Mengen von Öl aufweist. — Relativ kleine, einschlußfreie Aleuronkörner enthält die äußere Zellschicht der Samenkörner unserer Getreidearten (Fig. 83 *al*). Diese äußere Zellschicht führt nur Aleuron, der übrige Samen fast nur Stärke. Daher ist es klar, daß, je nachdem beim Mahlen und Beuteln des Korns, dessen äußere Schichten von den inneren getrennt und mehr oder weniger vollständig entfernt werden, das Mehl ärmer oder reicher an Eiweißkörpern ist. Die inneren Teile der Körner liefern „feineres", die äußeren nahrhafteres Mehl. — Die Reaktionen des Klebermehls sind im wesentlichen die nämlichen, die wir früher schon für Eiweißkörper kennen gelernt haben. Die Behandlung eines durch das Weizenkorn geführten Querschnittes (Fig. 83) mit Jodlösung würde beispielsweise eine gelbbraune Färbung der Aleuronschicht veranlassen, die tieferen, Stärke führenden Schichten aber blau tingieren.

Eiweißkristalle. Die Eiweißkristalle sind eine in den Geweben der Pflanzen verhältnismäßig häufige Erscheinung. Besonders verbreitet sind sie in den Aleuronkörnern (Fig. 82). Wir lernten sie bereits in den Samen von Ricinus kennen, besonders groß werden sie in dem Endosperm der Paranüsse, der Samen der Myrtacee Bertholletia excelsa. Auch fanden wir sie zuvor schon in den Chromatophoren. Die in Fig. 80 dargestellten Leukoplasten von Phajus grandifolius zeigen die stäbchenförmigen Kristalle als helle Streifen (in *B* und *E*). — Es können Eiweißkristalle auch unmittelbar im Cytoplasma auftreten, so in peripherischen, stärkearmen Zellen der Kartoffelknolle; man findet sie endlich im Innern der Zellkerne, so gar nicht selten bei der Schuppenwurz (Lathraea squamaria) und ganz allgemein bei den Scrophulariaceen und Oleaceen (40). Diese Eiweißkristalle gehören im allgemeinen dem regulären oder dem hexagonalen Kristallsystem an. Im Vergleich mit anderen Kristallen erscheinen sie dadurch merkwürdig, daß sie, wie auch sonst tote Eiweißkörper, Farbstoffe aufspeichern und daß sie quellbar sind. Beim Quellen in Wasser oder in verdünnter Kalilauge nehmen sie zunächst an Größe zu, ohne ihre Kristallform einzubüßen.

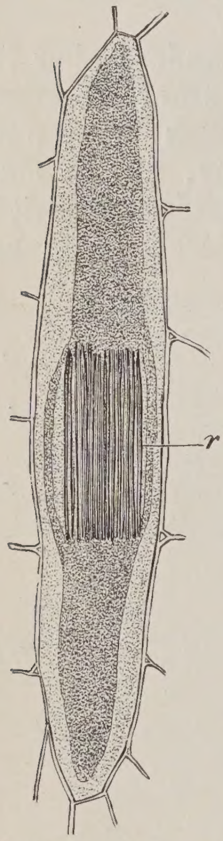


Fig. 84. Eine mit Schleim und einem Raphidenbündel erfüllte Zelle aus der Rinde von Dracaena rubra. *r* das Raphidenbündel. Vgr. 160.

Kristalle von Calciumoxalat kommen in sehr vielen Pflanzen vor. Sie werden im Cytoplasma innerhalb von Vakuolen angelegt, die sich weiterhin vergrößern und unter Umständen fast den ganzen Zellraum beanspruchen. In letzterem Falle erscheinen die übrigen Bestandteile der Zelle sehr reduziert, die Zellen nicht selten verkorkt. — Es entstehen entweder Einzelkristalle, welche dem tetragonalen, beziehungsweise dem monosymmetrischen Kristallsystem angehören, oder, was häufiger ist, morgensternförmige Kristalldrusen, die aus Kristallen zusammengesetzt sind, die von einem organischen Kern ausstrahlen. Bei Liliaceen, Orchideen und anderen monokotylen Gewächsen sind besonders verbreitet die sogen. Raphiden, nadelförmige Calciumoxalatkristalle (Fig. 84), die in Bündeln vereinigt sind. Ein solches Bündel ist stets in eine große, mit Gummischleim erfüllte Vakuole eingeschlossen. Der Koncentrationsgrad der Lauge, aus der die Kristalle entstehen, soll es nach Kny (41) bedingen, ob sie nach dem tretragonalen oder dem monosymmetrischen System sich bilden.

Kieselkörper, die nur in Fluorwasserstoffsäure sich lösen lassen, werden im Cytoplasma mancher Zellen, besonders bei Palmen und Orchideen ausgebildet und füllen oft fast die ganze Zelle aus.

Gerbstoffe. Mit koncentrierter Gerbstofflösung erfüllte, stark lichtbrechende Vakuolen sind besonders im Cytoplasma der Rindenzellen eine häufige Erscheinung. Sie wachsen unter Umständen zu bedeutender Größe heran. Die dunkelblaue oder grüne Färbung

mit Ferrichlorid- oder Ferrisulfatlösung, der rotbraune Niederschlag mit wäßriger Kaliumbichromatlösung, gelten im allgemeinen als Gerbstoffreaktionen, Reaktionen, welche freilich einer ganzen Gruppe ähnlich sich verhaltender Stoffe zukommen.

Fette und Öle der Pflanzen sind stets Gemenge von Fettsäure-Estern. Vielfach, so bei den meisten Monokotylen, stellt sich fettes Öl in alternden Chlorophyllkörnern ein. In Gestalt stark lichtbrechender Tröpfchen fanden wir das Ricinusöl im Cytoplasma der aleuronhaltigen Zellen des Ricinussamens verteilt. So tritt das Öl auch in den meisten anderen Fällen auf. Doch können die fettartigen Substanzen unter Umständen unregelmäßig geformte, mehr oder weniger weiche Körner im Cytoplasma bilden, so als vegetabilische Butter, als Talg oder Wachs in verschiedenen Samen; selbst in Form kristallinischer Nadeln findet man sie, in dem Samen der Paranuß (Bertholletia excelsa) und in der Muskatnuß (Myristica fragrans).

Glukogen. Dieser Körper, der dem Zucker und der Stärke verwandt und im Tierreich sehr verbreitet ist, hat nach Errera (42) für die Pilze dieselbe Bedeutung, wie Stärke und Zucker für die höheren Gewächse. Durch Jodlösungen wird das glukogenhaltige Cytoplasma rotbraun gefärbt, die Färbung schwindet größtenteils beim Erwärmen, um bei der Abkühlung wieder aufzutreten.

Ätherische Öle und Harze. In vielen Fällen sind es auch ätherische Öle, die man als stark lichtbrechende Tröpfchen im Cytoplasma verteilt findet. So in zahlreichen Blumenblättern, welche diesen Ölen ihren Wohlgeruch verdanken. Unter Umständen nehmen diese Körper Kristallform an, so in den Blumenblättern der Rose. Vielfach werden solche Essenzen aus den sie produzierenden Zellen in besondere Behälter ausgeschieden und dort oxydiert zu Kampfern oder Harzen. Besondere, mit Harz oder ätherischem Öl erfüllte Zellen finden sich in den Rhizomen verschiedener Pflanzen, so denjenigen des Kalmus (Acorus Calamus), des Ingwers (Zingiber officinale), in Rinden, wie denjenigen der Zimmetbäume (Cinnamonum), in Blättern, wie denjenigen des Lorbeers (Laurus nobilis), in der Fruchtschale und dem Samen des Pfeffers (Piper nigrum), der Fruchtschale des Sternanis (Illicium anisatum). Die Wände solcher Zellen sind vielfach verkorkt.

Schleim als Inhalt ist häufig in den Zellen von Zwiebeln, so bei Allium Cepa und Urginea Scilla, von Orchisknollen, doch auch in oberirdischen Pflanzenteilen, besonders den Blättern der Fettpflanzen (Succulenten), welche trockene Gegenden bewohnen und durch ihre Schleimzellen befähigt werden, energisch das Wasser festzuhalten.

Kautschuk und Guttapercha. Diese Körper treten in einer Anzahl von Pflanzenfamilien, so besonders bei den Moraceen, Euphorbiaceen und Sapotaceen im Milchsaft bestimmter Zellen auf. Sie sind in diesem Safte in Gestalt kleiner Kügelchen suspendiert und verleihen ihm ein milchiges Aussehen.

Leptomin. In den Siebröhren und den Milchsaft führenden Elementen der höher organisierten Gewächse, in der Kokosnußmilch und den Geweben der Kartoffelknolle fand Raciborski (43) ein katalytisch wirksames Enzym, das er Leptomin nannte.

Schwefel. Merkwürdig ist das Auftreten von Schwefel in Form kleiner, stark lichtbrechender Körner im Protoplasma bestimmter Bakterien, der Beggiatoen. Diese Bakterien leben in einem Wasser, das viel organische Substanzen enthält. Sie gewinnen den Schwefel, nach Winogradsky (44), aus Schwefelwasserstoff, und verbrennen ihn dann, nach Bedarf, zu Schwefelsäure.

Der Zellsaft. Als Zellsaft wird die Flüssigkeit bezeichnet, welche den inneren Saftraum ausgewachsener Zellen der Pflanzen füllt. Sie ist im allgemeinen wäßriger und klarer als die Flüssigkeit der kleineren, im Cytoplasma verteilten Vakuolen. Eine scharfe Grenze läßt sich aber zwischen Saftraum und Vakuolen nicht ziehen und kann der Saftraum durch eine große Zahl von Vakuolen vertreten sein. Der Zellsaft reagiert für gewöhnlich sauer und zwar infolge der organischen Säuren beziehungsweise organischsauren Salze, die er führt. Die Substanzen, die der Zellsaft außerdem in Lösung halten kann, sind sehr verschieden. Zu besonders häufigen Bestandteilen des Zellsaftes zählen die löslichen Kohlehydrate. Unter diesen herrschen vor die Zuckerarten, Traubenzucker und Rohrzucker, vor allem

der Traubenzucker oder die Glukosen. Die Glukosen sind an ihren reduzierenden Eigenschaften kenntlich.

Glukosehaltige Schnitte in Kupfersulfatlösung gelegt, dann abgespült und in Kalilauge erwärmt, geben innerhalb der Zellen einen ziegelroten Niederschlag von Kupferoxydul. Bei Vorhandensein von Rohrzucker oder Saccharose wird bei der nämlichen Behandlung nur eine Bläuung des Zellsaftes erzielt.

Die Kohlehydrate wandern innerhalb des Pflanzenkörpers vornehmlich als Glukosen; Rohrzucker wird hingegen als Reservestoff aufgespeichert, so in der Zuckerrübe, der Mohrrübe, dem Stengel des Zuckerrohrs und in anderen Pflanzen, aus denen man ihn gewinnt. — Ähnlich verhält sich bei den Compositen das Inulin. Dieses kann man mit Alkohol in Form kleiner Kügelchen niederschlagen und durch Erwärmen im Wasser den Niederschlag wieder auflösen. Wenn inulinreiche Pflanzenteile, z. B. die Wurzelknollen der Georgine (Dahlia variabilis), in Spiritus oder Glycerin gelegt werden, so fällt das Inulin in kugeligen Sphäriten aus, die von radialen Spalten durchsetzt sind, leicht in keilförmige Stücke zerfallen, manchmal auch deutliche Schichtung zeigen. Ganz allgemein führt der Zellsaft Amide, vor allem Asparagin und Glutamin. Häufig sind Gerbstoffe, Alkaloide, auch Glukoside, wie das Koniferin, Hesperidin, Amygdalin, Solanin, Äsculin, Saponin und die den Glukosiden verwandten Bitterstoffe im Zellsaft gelöst. Sehr verbreitet im Zellsaft sind, wie schon erwähnt, die organischen Säuren, Äpfelsäure, Ameisensäure, Weinsäure, Oxalsäure; die Äpfelsäure ganz allgemein in den Blättern der Fettpflanzen. Meist sind diese organischen Säuren mit Basen verbunden und manche ihrer Salze auskristallisiert. Der Sauerampfer (Rumex) und der Sauerklee (Oxalis) sind reich an saurem oxalsaurem Kali. Salicornia- und Salsola-Arten enthalten saures oxalsaures Natron. Jeder Zellsaft führt anorganische Salze in Lösung, besonders Nitrate, Sulfate und Phosphate.

Vielfach ist der Zellsaft gefärbt, vornehmlich durch sogen. Anthocyan. Dieses ist blau in alkalisch reagierendem, rot in sauer reagierendem Zellsaft, unter Umständen auch dunkelrot, violett, dunkelblau, selbst schwarzblau. Blutfarbige Laubblätter, so diejenigen der Blutbuchen, verdanken dem Zusammenwirken des roten Anthocyans und des grünen Chlorophylls ihre eigenartige Färbung. Die verschiedenen Färbungen der Blüten beruhen auf der verschiedenen Farbe des Zellsaftes, auf der verschiedenen Verteilung der die Farbstoffe führenden Zellen, endlich auf der Kombination der gelösten Farbstoffe mit gelben, gelbroten oder roten Chromoplasten und grünen Chloroplasten. Nur selten kommt auch ein gelber dem Xanthophyll nahe verwandter, doch in Wasser löslicher gelber Farbstoff, das Xantheïn, im Zellsafte vor.

2. Ontogenie der Zelle.

Ursprung der lebendigen Elemente des Protoplasma. Alle Zellkerne in einem Organismus sind Nachkommen von Zellkernen vorausgegangener Generationen. Eine freie Neubildung von Kernen findet nirgends statt. Ebenso ist alles Cytoplasma eines Organismus von älterem Cytoplasma abzuleiten. Nicht minder gehen, so weit bis jetzt bekannt, die Chromatophoren nur aus ihresgleichen hervor.

Kernteilung. Von bestimmten ganz begrenzten Fällen abgesehen, vermehren sich die pflanzlichen Zellkerne auf dem Wege sogen. mitotischer oder indirekter Teilung. Dieser Teilungsvorgang wird auch als Karyokinese bezeichnet. Er spielt sich in ziemlich komplizierter Weise ab, die aber notwendig erscheint, um die Substanz des Mutterkerns völlig gleichmäßig auf die beiden Tochterkerne zu verteilen.

Indirekte Kernteilung (45). In seinen Hauptzügen stimmt dieser Vorgang bei höher organisierten Pflanzen und Tieren überein. Wir führen ihn in

etwas schematisierten Bildern (Fig. 85) vor, welche seine Stadien im wesentlichen so darstellen, wie sie in den vegetativen Zellen der Pflanzen, etwa den Zellen eines Vegetationspunktes, aufeinander folgen.

Aus dem feinen Gerüstwerk des ruhenden Zellkerns (Fig. 85 *1*) sehen wir den Kernfaden, der dicker und damit auch kürzer wird, sich immer deutlicher heraussondern (*2*). Die Verbindungsbrücken zwischen den Windungen des Fadens werden eingezogen, die Zahl seiner Windungen nimmt ab, er entwirrt sich gewissermaßen und läßt sich in seinem Verlauf leichter verfolgen. Zugleich nimmt die Menge seines Chromatins zu, wodurch seine Tinktionsfähigkeit erhöht wird. Sein Chromatin sammelt sich schließlich zu Querscheiben an, die durch schmale Lininbrücken verbunden sind. Hierauf

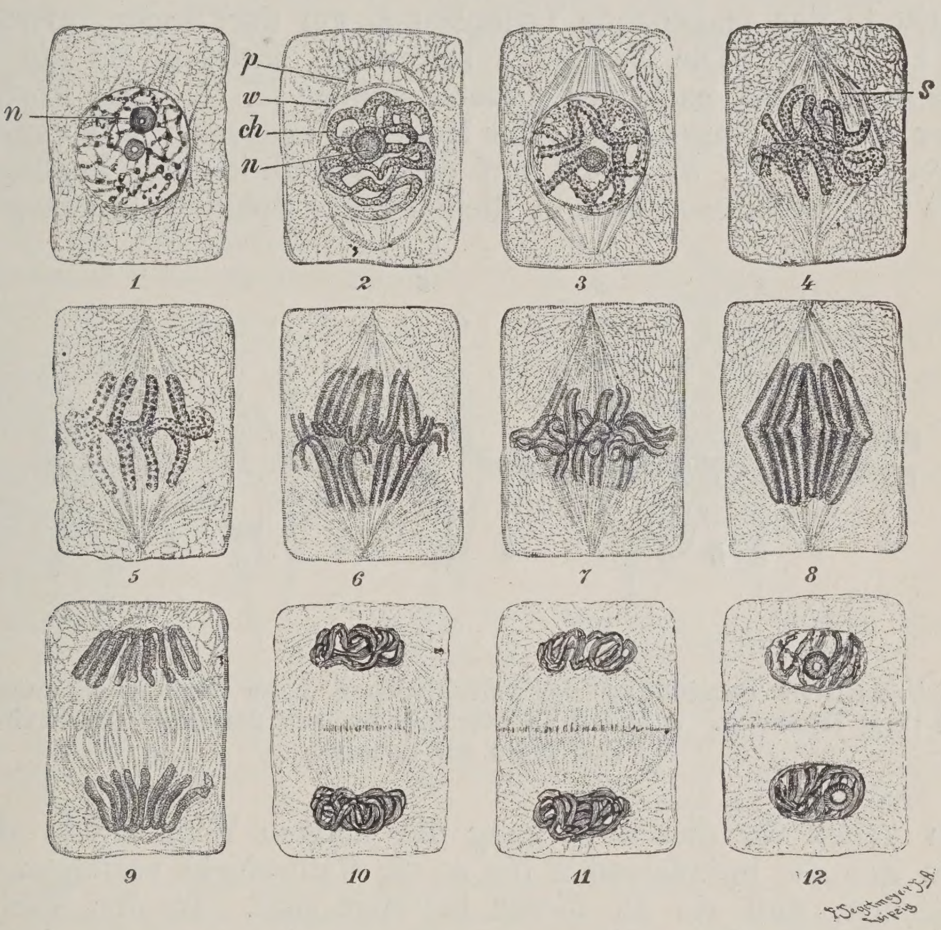


Fig. 85. Aufeinander folgende Stadien der Kern- und Zellteilung, in einer embryonalen Gewebszelle, etwa der eines Vegetationspunktes. Etwas schematisiert. *n* Nucleolus, *p* Polkappen, *w* Kernwandung, *ch* Chromosomen, *s* Spindelfasern. Vergr. ca. 600.

zerfällt er durch Querteilung in eine bestimmte Anzahl von Stücken, die man als K e r n s e g m e n t e oder C h r o m o s o m e n bezeichnet (Fig. 85 *3*, *4*). Diese werden nach der Teilungsebene befördert, um die sogen. K e r n p l a t t e oder Äquatorialplatte zu bilden (*5*). Jedes Chromosom hat zuvor schon eine Längsspaltung erfahren, die jetzt deutlich hervortritt (*6*); die beiden Längshälften rücken hierauf in entgegengesetzter Richtung auseinander (*7*), um die beiden Tochterkerne zu bilden.

In die geschilderten Vorgänge greifen andere in bestimmender Weise ein. Während der Kernfaden kürzer wird, sich entwirrt und in die einzelnen Chromosomen zerfällt, legen sich der Kernwandung Cytoplasmafäden an und umgeben sie mit einer faserigen Schicht. Diese hebt sich alsbald an zwei gegenüberliegenden Seiten von der Kernwandung ab (*2*) und bildet Pol-

kappen. Diese sind mit homogenem Inhalte erfüllt, in welchem sich dann zarte Fasern differenzieren. Letztere verlaufen polwärts, ohne dort zunächst zusammen zu treffen, neigen aber weiterhin zusammen, strecken sich und bilden zugespitzte Büschel (*3*). Hierauf wird das Kernkörperchen aufgelöst, die Kernwandung schwindet, und die Fasern der Kappen verlängern sich in die Kernhöhle hinein (*4*). Sie setzen dort entweder von zwei Seiten her an die Chromosomen an, oder treffen mit den Enden aufeinander, um als ununterbrochene Fäden von einem Pol zum andern zu verlaufen. So entsteht die Kernspindel. Die an die Chromosomen ansetzenden Spindelfasern werden als Zugfasern, die von Pol zu Pol verlaufenden als Stützfasern bezeichnet. Die Kernkörperchen scheinen im Pflanzenreich vorwiegend das Material zur Bildung der Spindelfasern zu liefern. Ein etwaiger Überschuß an Nucleolarsubstanz tritt in das umgebende Cytoplasma, um dort sogen. extranucleare Nucleolen zu bilden. Die Zugfasern befördern, nachdem sie die Chromosomen erfaßten, diese nach der Äquatorialebene (*5*, *6*). Das Auseinanderweichen der aus der Längsspaltung der Mutterchromosomen hervorgegangenen Tochterchromosomen (*7*, *8*) beruht auf der Kontraktion der Zugfasern. So werden die Tochterchromosomen in Richtung der Spindelpole gezogen. Die

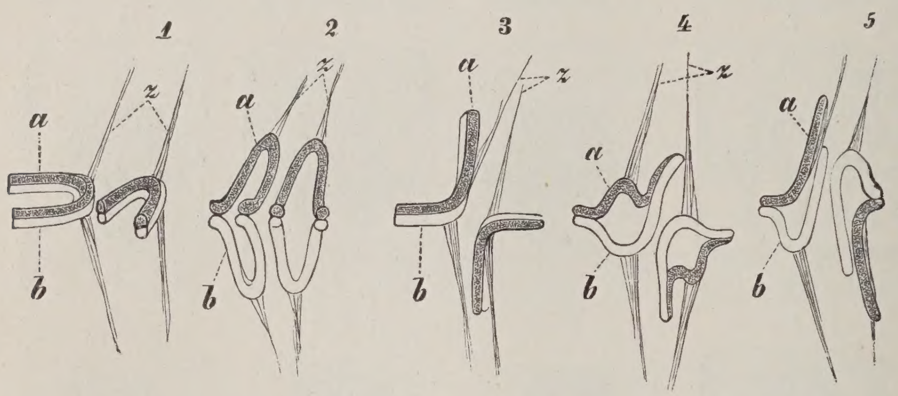


Fig. 86. Schematische Darstellung der verschiedenen Lage der Chromosomen an der Spindel und ihrer Trennung. *a* und *b* Tochterchromosomen derselben Mutterchromosome. *z* Zugfasern der Spindel.

Stützfasern geben für diesen Vorgang die nötigen Widerstände ab. Vielfach lassen sich die Spindelenden bis an die Hautschicht verfolgen und man kann feststellen, daß sie an dieser befestigt sind. In den Tochterkernanlagen werden die freien Enden der Chromosomen alsbald einwärts gebogen (*10*); dann grenzt sich das umgebende Cytoplasma mit einer Hautschicht gegen die Kernanlage ab und bildet die Kernwandung (*11*). Innerhalb der Kernanlage verschmelzen die Chromosomen mit ihren Enden, sie beginnen sich zu strecken (*12*) und ineinander zu winden. Das Chromatin nimmt ab; die Anlage wird größer; es treten Nucleolen in Ein- oder Mehrzahl in ihr auf, während die extranuclearen Nucleolen gleichzeitig im Cytoplasma schwinden; schließlich ist der Ruhezustand wieder erreicht.

So spielt sich der Vorgang in jugendlichen Geweben der höher organisierten Pflanzen für gewöhnlich ab. Die Chromosomen sind bei ihrer Sonderung meist schleifenförmig und werden annähernd in ihrer Mitte, seltener gegen ihr Ende, von den Zugfasern erfaßt. Die Zugfasern des einen Pols setzen an das eine, die des anderen an das andere Tochterchromosom jedes Paares an. Die Art, wie die Tochterchromosomenpaare an der Kernspindel orientiert sind und wie ihr Auseinanderweichen sich vollzieht, soll durch unsere schematische Figur 86 vergegenwärtigt werden. In dem mit *1* bezeichneten Bilde liegen die beiden Schenkel jedes Paarlings annähernd in der Äquatorialebene. Dann zeigen die Tochterchromosomen bei ihrer Trennung die Gestalt von

zwei entgegengesetzt gerichteten, mit ihren Schenkelenden aufeinander gestützten U (2). Meist pflegt aber der eine Schenkel jedes Paarlings (3) nach dem einen der beiden Pole, der andere annähernd äquatorial orientiert zu sein. Das gibt, wenn die Trennung begonnen hat, entweder Bilder wie in 4 oder wie in 5. Bilder wie in 4 kommen zu stande, wenn die Tochterchromosomen an ihren beiden Schenkelenden zunächst verbunden bleiben, Bilder wie in 5, wenn an den polwärts gerichteten Enden alsbald eine Trennung erfolgt. In allen diesen Fällen geht die Trennung von der Stelle aus, an der die Zugfasern ansetzen. Liegt die Insertion eines Paarlings an der Spindel dem einen seiner Enden genähert, so werden naturgemäß mit Beginn des Auseinanderweichens die Tochterchromosomen alsbald an diesem Ende getrennt sein, mit dem entgegengesetzten hingegen länger verbunden bleiben. Das Verhalten wie im Schema *3* und *4* haben wir unserer Figur 85 zu Grunde gelegt. Meist freilich tritt es nicht so rein auf, sondern mehr oder weniger kombiniert mit den anderen Typen.

Im Gegensatz zur Kernteilung in den Geweben pflegt in bestimmten der Fortpflanzung dienenden Zellen der höher organisierten Pflanzen die Kernspindel nicht gleich bipolar, sondern multipolar angelegt zu werden. Erst aus der multipolaren Anlage geht die bipolare Spindel hervor. Die Fig. 87 führt uns eine solche multipolare Spindelanlage in einer Pollenmutterzelle vor. Da differenzieren sich in der Umgebung des Kernes, im wabigen Cystoplasma, Cytoplasmafäden. Diese bilden zunächst einen Filz um den Kern, aus dem weiterhin sich einzelne Fadenbüschel heraussondern und nach

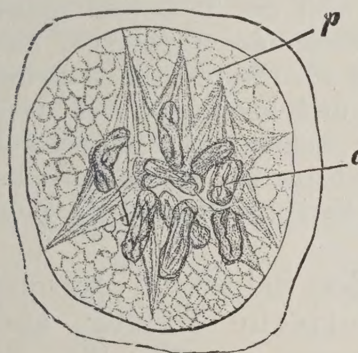


Fig. 87. Multipolare Spindelanlage in der Pollenmutterzelle von Lilium Martagon. *p* die Pole der Anlage, *ch* Chromosomen. Vergr. 750.

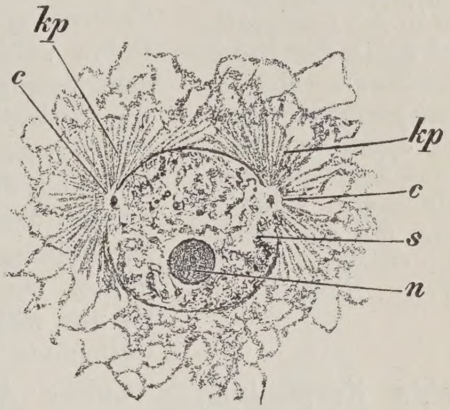


Fig. 88. Ein sich zur Teilung anschickender Zellkern aus einer Keimpflanze der Braunalge Fucus serratus. Die aus der Teilung des einen Centriols hervorgegangenen zwei Centriolen (*c*) sind bereits eine Strecke weit auseinandergerückt, *kp* Strahlungen des Kinoplasma, *s* Chromosomen, *n* Nucleolus. Vergr. 1000.

der Zelloberfläche zu in getrennten Polen zusammenlaufen (Fig. 87). Von diesen Büscheln werden die meisten wieder eingezogen, während andere, an zwei gegenüberliegenden Seiten des Kerns befindlichen, zu den beiden endgültigen Spindelpolen sich ausbilden.

Die Vorgänge, die sich während der Vorbereitung zur Teilung in einem Mutterkerne abspielen, werden als Prophasen der Teilung bezeichnet. Sie reichen bis zur Bildung der Kernplatte und schließen in sich auch den Vorgang der Längsspaltung der Chromosomen ein. Das Auseinanderweichen der Tochterchromosomen erfolgt in den Metaphasen, die Bildung der Tochterkerne in den Anaphasen der Teilung. Der Höhepunkt der ganzen Kernteilung, derjenige Vorgang, der zur Bildung quantitativ und qualitativ gleicher Teilungsprodukte führt, liegt in der Längsspaltung der Chromosomen (*6* Fig. 85, Fig. 86). Die Anaphasen der Teilung sind im wesentlichen eine rückläufige Wiederholung der Prophasen.

Der als Kinoplasma oder Filarplasma (S. 51, 52) unterschiedene Bestandteil des Cytoplasma dürfte es sein, der die Anlage der Kernspindeln liefert.

In den Sporenmutterzellen der höheren Kryptogamen, den Mutterzellen des Pollens und der Embryosäcke bei den Phanerogamen, stellt sich im Mutterkern bei Eintritt der Prophasen eine Verminderung der Zahl der Chromosomen, meist auf die Hälfte, im Verhältnis zu den umgebenden Geweben ein. Bei einer solchen numerischen Reduktion der Chromosomenzahl pflegen zwei Kernteilungen rasch aufeinander zu folgen, die beiden Längsspaltungen der Chromosomen sich aber schon beim ersten Teilungsschritt

zu vollziehen. Dadurch kommen die Teilungsbilder zu stande, die von den in Geweben beobachteten abweichen. Man hat die erste dieser beiden Kernteilungen als heterotypische, die zweite als homöotypische bezeichnet und beide als atypische Teilungen den typischen gegenübergestellt (46). Ganz entsprechende Teilungsvorgänge stellen sich bei Anlage der Geschlechtsprodukte im Tierreich ein.

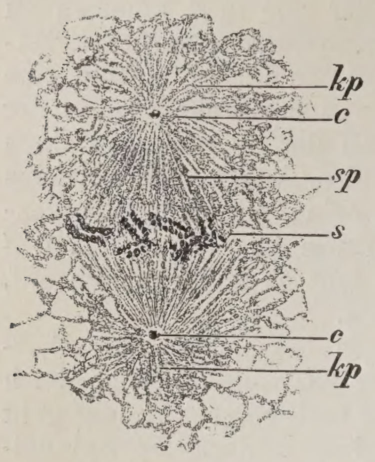


Fig. 89. Eine Kernspindel mit längsgespaltenen Chromosomen in der Kernplatte aus einer Zelle der Keimpflanze der braunen Meeresalge Fucus serratus. *c* Centriolen, *kp* Strahlungen des Kinoplasma (Astrosphaeren), *sp* Spindelfasern, *s* längsgespaltene, die Kernplatte bildende Chromosomen. Vergr. 1000.

Bei solchen niederen Kryptogamen, die individualisierte Centriolen an ihren Kernen führen, erfahren diese zu Beginn der Karyokinese eine Teilung und ihre Hälften rücken auseinander (Fig. 88 *c*), um schließlich die Pole der zukünftigen Kernspindel zu erreichen. Um solche Centriolen ist meist eine bestimmte Plasmamasse als Centrosom oder Idiosom abgegrenzt und um dieses bildet sich alsbald eine aus Kinoplasma bestehende Strahlung (*Kp*), eine Astrosphäre, aus. Haben die beiden Centriolen die Kernpole erreicht, so schwindet dort die Kernwandung und es treten Spindelfasern in der Kernhöhle auf, die von den Centrosomen ausgehen und sich bis an die Chromosomen fortsetzen. Die fertige Kernspindel (Fig. 89) ist mit je einem Centrosom und kinoplasmatischer Strahlung (K*p*) an den Polen versehen, stimmt im Übrigen in ihrem Bau mit den centriolenfreien Kernspindeln der höher organisierten Pflanzen überein. So auch spielen sich die Teilungsvorgänge und die Ausbildung der Tochterkerne der Hauptsache nach in beiden Fällen übereinstimmend ab. Die Centriolen bleiben an den Tochterkernen erhalten und vermehren sich durch Zweiteilung bei jedem weiteren Teilungsschritte der Zellkerne. Die kinoplasmatische Strahlung um die Centrosomen ist nur während der Dauer des karyokinetischen Vorgangs vorhanden (47).

Direkte Kernteilung. Außer der mitotischen oder indirekten Kernteilung kommt auch noch eine direkte oder amitotische Teilung, auch Fragmentation genannt, vor (Fig. 90). Sie mag die ursprüngliche Teilungsart der Kerne gewesen sein und bei den niedersten Organismen lassen sich zwischen ihr und der indirekten Kernteilung fortschreitende Übergänge nachweisen. Bei den höher organisierten Pflanzen ist die direkte Kernteilung hingegen ein reduzierter, auch wohl seniler Vorgang, der sich meist erst in älteren Zellen oder auch in solchen einstellt, deren Inhalt alsbald desorganisiert werden soll.

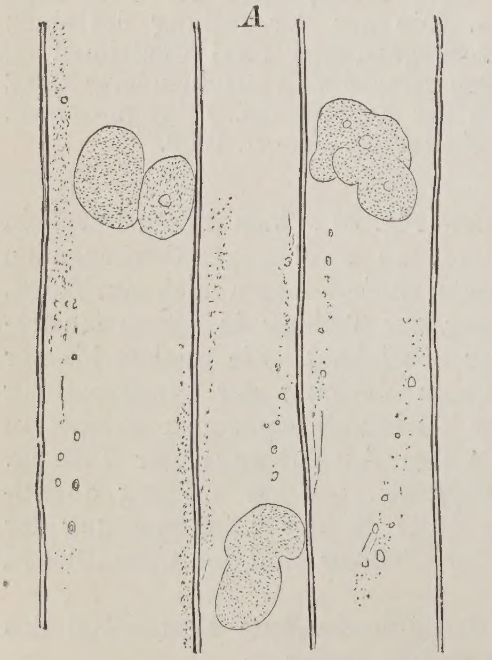


Fig. 90. Kerne älterer Zellen aus dem Stengel von Tradescantia virginica, in direkter Teilung. Vergr. 540.

Lehrreiche Beispiele für solche direkte Kernteilung bieten uns die langen Gliederzellen der Armleuchtergewächse (Characeen), und alte Internodialzellen von Tradescantien (Fig. 90). Die direkte Kernteilung beruht im wesentlichen auf einem Durchschnürungsvorgang, wobei die Teilstücke durchaus nicht in ihrer Größe übereinzustimmen brauchen. Bei den Armleuchtergewächsen folgen die Teilungsschritte so rasch aufeinander, daß oft perlschnurförmige Reihen zusammenhängender Teilstücke entstehen. In alten Internodialzellen von Tradescantia (Fig. 90) zeigen die besonders häufigen nur halbdurchschnürten Kerne

die unregelmäßigsten Gestalten. — Während in den einkernigen Zellen eine indirekte Kernteilung von einer Zellteilung fast stets begleitet wird, folgt eine solche auf direkte Kernteilung nicht.

Zellteilung. In den einkernigen Zellen der höher organisierten Gewächse pflegen Kern- und Zellteilungen ineinander zu greifen. Zwischen den auseinander weichenden Tochterchromosomen verbleiben die von Pol zu Pol reichenden Stützfasern der Kernspindel als Verbindungsfäden (Fig. 85 *8*, *9*). Ihre Zahl wird durch Einschaltung neuer Verbindungsfäden in der Äquatorialebene vermehrt (*10*). Sie bilden alsdann einen tonnenförmigen Körper, der sich entweder von den Tochterkernanlagen ganz trennt oder mit ihnen durch eine peripherische Hülle, den Verbindungsschlauch, verbunden bleibt. Ersteres findet in Zellen statt, die mit Cytoplasma dicht erfüllt sind, letzteres in saftreicheren Zellen. Jeder Verbindungsfaden schwillt alsbald in der Äquatorialebene stäbchenförmig an (*11*), wodurch die Zellplatte entsteht. Ist die betreffende Zelle sehr plasmareich, oder besitzt sie nur geringe Weite, so erreicht der Komplex der Verbindungsfäden allseitig ihre Seitenwände (*12*). Aus der verschmelzenden Substanz der Elemente der Zellplatte geht alsdann eine cytoplasmatische Hautschicht hervor, die sich spaltet und in der Spaltungsfläche die Scheidewand aus Zellhautstoff ausscheidet, welche simultan die Mutterzelle in zwei Tochterzellen teilt (*12*). Ist die betreffende Zelle mit einem größeren Saftraum versehen, so vermag der Komplex der Verbindungsfäden sie nicht mit einem Mal zu durchsetzen; er bildet die Scheidewand vielmehr succedan aus (Fig. 91), zunächst einen Teil, der an eine Seitenwand der Mutterzelle anschließt (91 *A*), dann einen folgenden Teil, wobei er an seinem freien Rande die Zellplatte ergänzt, von den schon gebildeten Teilen der Scheidewand sich zurückzieht (*B*) und so fort und fort, bis daß der ganze Querschnitt der Mutterzelle durchsetzt und ihre Teilung damit vollendet ist (*C*).

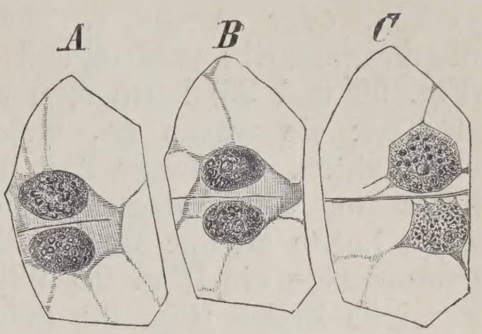


Fig. 91. Drei Teilungszustände in derselben Zelle von Epipactis palustris. Nach dem Leben entworfen. (Nach TREUB.) Vergr. 365.

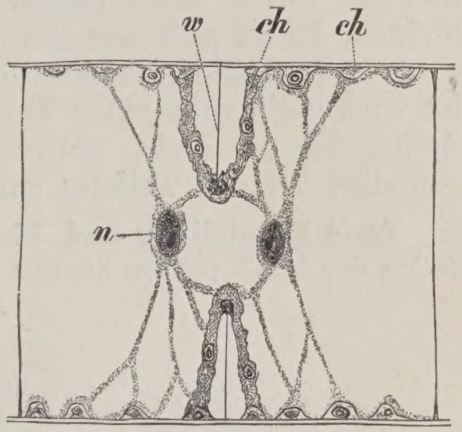


Fig. 92. Eine Spirogyrazelle in Teilung. *n* einer der beiden Tochterkerne, *w* die wachsende Scheidewand, *ch* ein durch dieselbe nach innen gedrängtes Chlorophyllband. Vergr. 230.

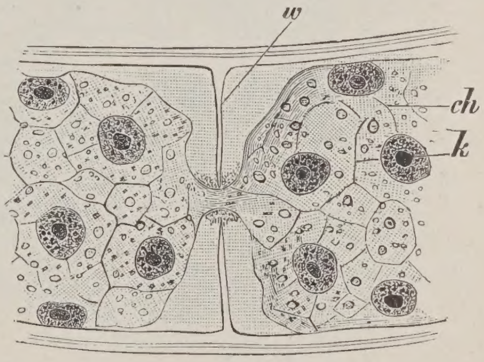


Fig. 93. Stück einer sich teilenden Zelle von Cladophora fracta. *w* die wachsende Scheidewand, *ch* die nach innen gedrängten Chromatophoren, *k* Kerne. Vergr. 600.

Die Verbindungsfäden bestehen aus Kinoplasma. Da die Zellplatte zwischen den Schwesterzellen aus Anschwellungen dieser Verbindungsfäden hervorgeht, so bezeugt das ihre kinoplasmatische Natur. Durch ihre Spaltung versieht diese Zellplatte die beiden Schwesterzellen an der Trennungsstelle mit den erforderlichen Hautschichten. Durch Trennung des Verbindungsfadenkomplexes in zwei gleiche Hälften wird das Kinoplasma gleichmäßig auf die entstehenden Zellen verteilt.

Bei den Thallophyten entstehen weder die Scheidewände der vielkernigen, noch der einkernigen Zellen in Komplexen von Verbindungsfäden; die Scheidewände werden dort vielmehr entweder simultan, in vorgebildeten Cytoplasmaplatten, oder succedan, von der Mutterzellwand aus in das Zellinnere diaphragmaartig vordringend, erzeugt. Teilungsvorgänge der letzteren Art (Fig. 92 und 93) hatte man zuerst eingehend und zwar bei Süßwasseralgen studiert; sie waren es, welche die Aufstellung jenes Zellteilungsschemas veranlaßten, das lange Zeit die tierische und die pflanzliche Histologie beherrschte. Die Anlage der neuen Scheidewand tritt bei ihnen als ringförmige Leiste an der Mutterzellwand auf, dann dringt sie immer tiefer in den Protoplasten ein (Fig. 92, 93) und durchschneidet ihn schließlich. In einkernigen Zellen (Fig. 92) geht auch bei solcher Art der Teilung die Kernteilung der Zellteilung voraus und wird die neue Scheidewand in gleicher Entfernung von den beiden Tochterkernen erzeugt. In vielkernigen Zellen der Thallophyten hingegen teilen sich zwar die Kerne so wie in einkernigen, der Zellteilungsvorgang (Fig. 93) wird aber von der Kernteilung völlig unabhängig. In vielkernigen Thallophyten, die einzellig bleiben, teilen sich nur die Zellkerne, Zellteilung erfolgt nicht.

Das Ineinandergreifen der Kern- und Zellteilung in einkernigen Zellen ist notwendig, um jeder Tochterzelle einen Kern zu sichern, in vielkernigen Zellen ist es nicht notwendig, da jeder Tochterzelle die nötigen Kerne ohnedies bei der Teilung zufallen.

Freie Kernteilung und Vielzellbildung. Die Kernteilungen in den vielkernigen Zellen der Thallophyten können bereits als Beispiel für eine freie, d. h. von Zellteilung nicht begleitete Kernteilung dienen. Auch in Pflanzen mit typisch einkernigen Zellen findet in bestimmten Zellen freie Kernteilung statt, doch pflegt dort auf diese schließlich ein Zellbildungsvorgang meistens zu folgen. So ist es besonders oft bei der Anlage von Keimzellen. Der Vorgang beruht darauf, daß die Kerne sich durch Zweiteilung vermehren, ohne daß diese Kernteilung von Zellteilung zunächst begleitet wird. Erst nach Anlage der vollen Kernzahl grenzt sich das Cytoplasma simultan, zwischen den Kernen, in so viel Teile ab, als Kerne vorhanden sind. Es liegt dann Vielzellbildung vor. Besonders lehrreich ist dieser Vorgang in bestimmten, oft bedeutende Größe erlangenden Zellen der Phanerogamen, den Embryosäcken, jenen Zellen, in welchen der Embryo ausgebildet wird. In Embryosäcken, die rasch wachsen, sieht man den zunächst einzigen Zellkern sich in zwei Zellkerne teilen, diese und ihre Nachkommen den Vorgang wiederholen und so nicht selten tausende von Zellkernen entstehen. Zellteilungen begleiten diese Kernteilungen nicht, vielmehr zeigen sich die Kerne frei in gleichen Abständen in dem cytoplasmatischen Wandbeleg des Embryosackes verteilt. Hört die Größenzunahme des Embryosackes auf, so umgeben sich die Zellkerne in ihrem ganzen Umkreis mit Verbindungsfäden, so daß

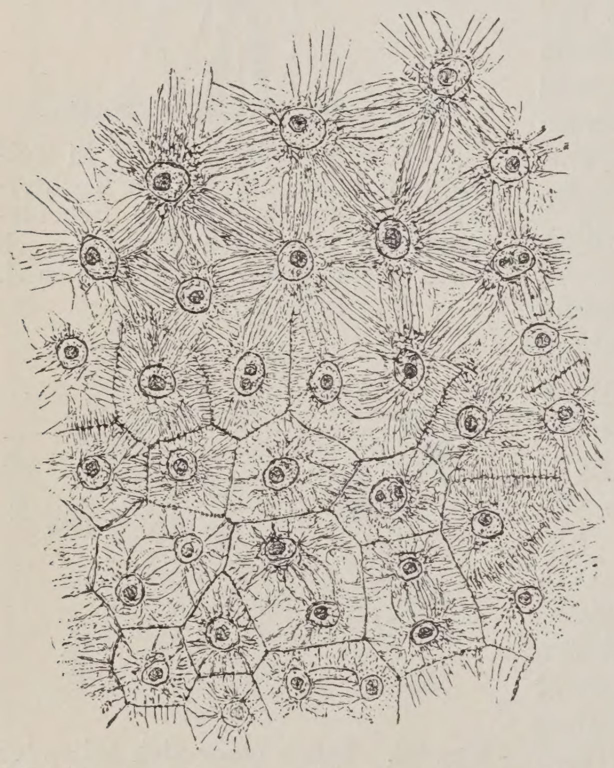


Fig. 94. Stück des protoplasmatischen Wandbelegs aus dem Embryosack von Reseda odorata, bei beginnender Vielzellbildung. Der Vorgang schreitet von unten nach oben fort. Nach einem fixierten und tingierten Präparate. Vergr. 240.

sie wie strahlende Sonnen aussehen (Fig. 94). In diesen Verbindungsfäden treten dann Zellplatten auf, in denen Zellwände entstehen. So zerfällt durch „simultane Vielzellbildung“ der protoplasmatische Wandbeleg des Embryosackes meist in so viele Zellen, als er Zellkerne führte. — Die simultane Vielzellbildung in Embryosäcken ist durch alle Zwischenstufen mit succedaner Zweiteilung der Zellen verknüpft. Letztere findet in langsam wachsenden, meist auch klein bleibenden Embryosäcken statt. Die simultane Vielzellbildung ist somit von der Zweiteilung abzuleiten und als ein verkürzter Vorgang aufzufassen, der durch besonders rasche Größenzunahme einer Zelle bedingt werden kann.

Freie Zellbildung. Dieser Vorgang liegt von der gewöhnlichen Zweiteilung der Zellen schon weiter ab, denn es folgt in ihm auf die freie Kernbildung eine Zellbildung, bei welcher die entstehenden Zellen einander nicht berühren und nicht das gesamte Cytoplasma ihrer Mutterzelle aufbrauchen. Ein solcher Vorgang ist bei der Sporenbildung der Schlauchpilze (Ascomyceten), auch bei der Keimanlage einiger nacktsamiger Phanerogamen (Gymnospermen), so von Ephedra, zu beobachten. In den Schläuchen (Asci) der Ascomyceten ist zunächst nur ein Zellkern vorhanden, der sich frei teilt und dessen Nachkommen dieselbe Teilung wiederholen, so daß schließlich acht Zellkerne in dem Cytoplasma verteilt liegen. Um jeden Zellkern wird hierauf eine bestimmte Cytoplasmaportion durch eine Hautschicht abgegrenzt, die sich mit einer Zellhaut umgibt, so daß acht voneinander getrennte Sporen entstehen (vgl. Fig. 305). Wie die Untersuchungen von HARPER (48) zeigten, geht die Bildung der Hautschichten hierbei von einer centrosomenartigen Kinoplasmaansammlung aus, welche dem Spindelpol der vorausgehenden Teilungsfigur entspricht. Gegen diese Kinoplasmamasse

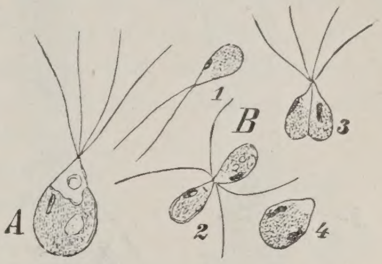


Fig. 96. *A* eine ungeschlechtliche Schwärmspore von Ulothrix zonata. *B*, *1* ein Gamet, *2* und *3* kopulierende Gameten, *4* eine durch Kopulation erzeugte Zygote. Vergr. 500.

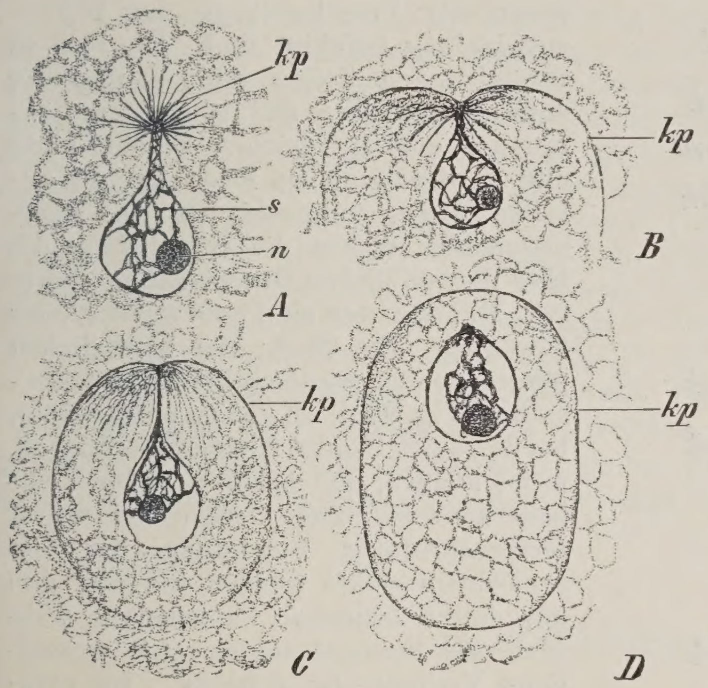


Fig. 95. Aufeinander folgende Stadien der Abgrenzung einer Spore im Ascus von Erysiphe communis. *A* von der an dem vorgezogenen Kernpol angesammelten Kinoplasmamasse gehen freie Strahlungen (*Kp*) in die Umgebung aus. In *B* beginnen sie die abzugrenzende Cytoplasmamasse zu umwachsen. In *C* ist dieser Vorgang vollendet, die Hautschicht um den Sporenkörper aus den verschmolzenen Kinoplasmastrahlen erzeugt. In *D* ist die kinoplasmatische Verbindung zwischen Zellkern und Hautschicht aufgehoben. *s* Kerngerüst, *n* Nucleolus. (Nach HARPER.) Vergr. 1500.

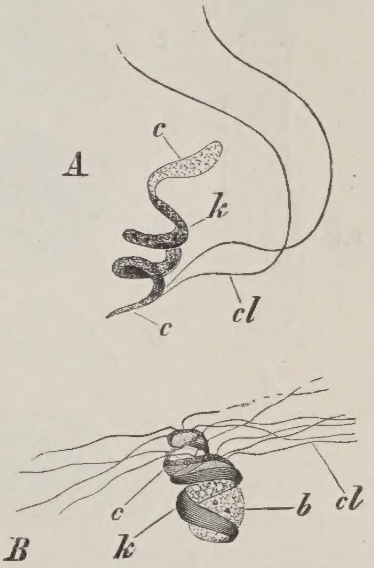


Fig. 97. *A* Ein Spermatozoid von Chara fragilis, *B* Spermatozoid des Farnes Onoclea struthiopteris (nach SHAW). Der Zellkern *k* ist dunkler gehalten, *c* der cytoplasmatische Abschnitt, *cl* Cilien, in *B* der dichteren Kante des Bandes entspringend, *b* Blase. Vergr. *A* 540, *B* 850.

ist der Kern lang vorgestreckt, und von ihr aus werden Kinoplasmastrahlen entsandt, welche den abzugrenzenden Sporenkörper umwachsen und schließlich zu dessen Hautschicht verschmelzen (Fig. 95).

Zellsprossung. Eine besondere Abart der gewöhnlichen Zweiteilung der Zellen ist die Sprossung. Die Mutterzelle wird bei ihr nicht halbiert, sie treibt vielmehr einen Auswuchs, der an seiner Ursprungsstelle später abgetrennt wird. So vermehrt sich die Hefe, die in unserer Fig. 2 (S. 7) zur Darstellung kam, und in solcher Weise entstehen auch die als Conidien bezeichneten Sporen bei zahlreichen Pilzen (Fig. 324).

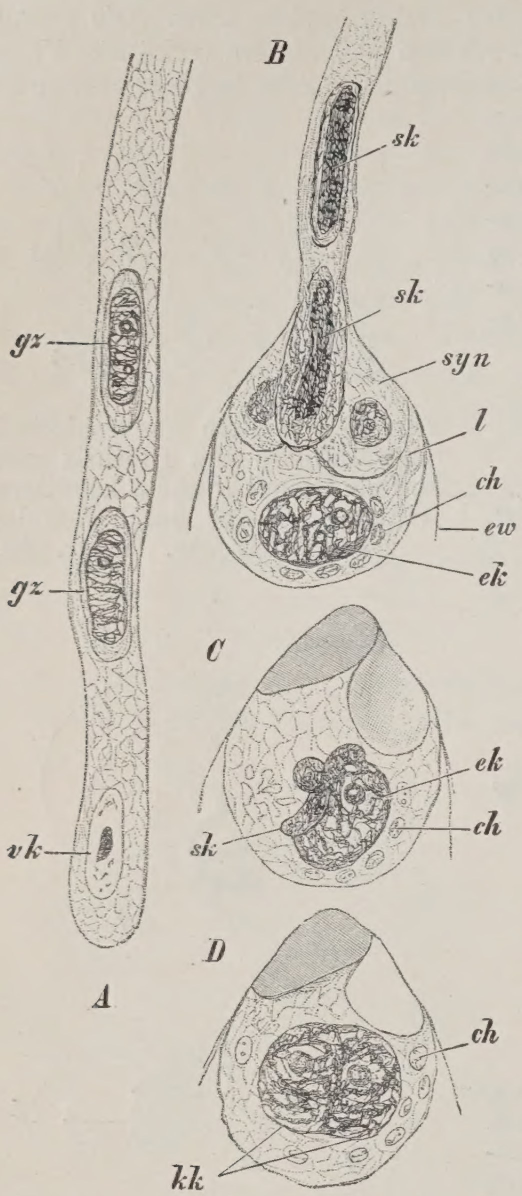


Fig. 98. Der Befruchtungsvorgang bei einer phanerogamen, angiospermen Pflanze, etwas schematisiert. *A* Ende des Pollenschlauches, in ihm *gz* die generativen Zellen, welche je einen Spermakern enthalten, *vk* der vegetative Zellkern, der schließlich aufgelöst wird. Eier in aufeinanderfolgenden Stadien der Befruchtung, *B—D* bei *B* die ins Ei eindringende generative Zelle, mit Spermakern *sk*; *syn* die in Rückbildung begriffenen Synergiden; *ew* Embryosackwandung. In *C* Vereinigung von Spermakern *sk* und Eikern *ek*. *D* der Keimkern (*kk*) nach vollzogener Vereinigung von Spermakern und Eikern, *ch* die Anlagen der Chromatophoren. Vergr. ca. 500.

Kopulation (49). Die Geschlechtsprodukte stellen Zellen dar, die, von seltenen Ausnahmen abgesehen, erst nach paarweiser Verschmelzung zur Weiterentwicklung befähigt sind. Die sich so vereinigenden Zellen können einander entweder gleichen und heißen dann Gameten, oder sie gleichen einander nicht und werden dann als Eier und Spermatozoiden unterschieden. Die Spermatozoiden stellen die männlichen, die Eier die weiblichen Geschlechtsprodukte vor. Die Gameten sind unbeweglich oder beweglich (Fig. 95 *B*); die beweglichen pflegen den ungeschlechtlichen Schwärmsporen (Fig. 95 *A*) zu gleichen, sind aber, bei derselben Pflanze mit ihnen verglichen, meist kleiner, und besitzen vielfach nur halb so viel Cilien. Auch bei weiter fortgeschrittener Sonderung der Geschlechtsprodukte pflegen die Eier den gewohnten Zellenbau zu behalten, während die Spermatozoiden eine wesentliche Veränderung erfahren. Im cytoplasmatischen Zellkörper des Eies liegt ein Zellkern von gewohntem Bau und sind Anlagen von Chromatophoren vorhanden. Die pflanzlichen Spermatozoiden (Fig. 97) stellen hingegen in extremen Fällen einen korkzieherförmigen, mit Cilien versehenen Körper vor, der ein scheinbar homogenes Gefüge besitzt. Nur auf Grund der Entwicklungsgeschichte, sorgfältiger Härtungen und Tinktionen, gelingt es auch in einem solchen Spermatozoiden nachzuweisen, daß der hintere Abschnitt seines Körpers von einem Zellkern (*k*) fast vollständig eingenommen wird, der vordere, samt den Cilien, aus Cytoplasma (*c*), und zwar vornehmlich Kinoplasma, besteht, das Bläschen am hinteren Körperende (*b*) aus dem Saftraum der Zelle hervorgeht (50).

Nur den Kryptogamen und, wie sich neuerdings zeigte (51), auch einem Teile der Gymnospermen (Cycadeen, Ginkgo) kommen mit Cilien versehene männliche Geschlechtsprodukte zu. Bei den Kryptogamen werden diese Spermatozoiden frei aus den Ge-

schlechtsorganen entlassen, brauchen Wasser zu ihrer Verbreitung und gelangen schwimmend zu den Eiern, die meist an ihrer Ursprungsstelle verharren. Bei den Gymnospermen, welche mit Cilien versehene Spermatozoiden bilden, führt ein aus dem Pollenkorn hervorwachsender Schlauch, der Pollenschlauch, sie an ihren Bestimmungsort. So auch gelangen die cilienlosen männlichen Zellen der übrigen Gymnospermen und der Angiospermen im Innern eines Pollenschlauches (Fig. 98) bis an das Ei. — Bei der Vereinigung der männlichen mit der weiblichen Zelle, im Befruchtungsakt, verschmelzen die Zellkerne, die als Spermakern (*sk*) und Eikern (*ek*) unterschieden werden, zum Keimkern; das Cytoplasma der männlichen Zelle tritt in dasjenige der weiblichen ein; Chromatophoren werden hingegen von der männlichen Zelle nicht eingeführt, sie gehören der weiblichen allein an. Wo die Spermatozoiden, wie das im Tierreiche und auch bei Thallophyten der Fall ist, mit einem Centrosom versehen sind, verschmilzt dieses Centrosom nicht mit dem Centrosom des Eies, letzteres pflegt vielmehr außer Funktion gesetzt zu werden und das Centrosom des Spermatozoiden am Keimkerne allein in Wirksamkeit zu treten.

Fig. 99. Chlorophyllkörner aus dem Blatte des Laubmooses Funaria hygrometrica; ruhend und in Teilung. Im Innern der Körner kleine Stärkeeinschlüsse. Vgr. 540.

Das Ei erlangt erst durch die Befruchtung Entwicklungsfähigkeit, doch gibt es Ausnahmen, vornehmlich im Tierreich bei den Gliedertieren (Arthropoden), wo das Ei auch ohne Befruchtung einen Keim liefert. Man bezeichnet das als jungfräuliche Zeugung oder Parthenogenesis. Bei Pflanzen mit fortgeschrittener geschlechtlicher Differenzierung kommt Parthenogenesis nur äußerst selten vor. Sie war seit längerem für gewisse Fadenpilze (Saprolegnien) und für ein Armleuchtergewächs, Chara crinita bekannt (52). Neuerdings gelang ihr Nachweis auch bei einem Wasserfarn (Marsilia) (53), selbst bei Phanerogamen, so bei Antennaria alpina, Alchemillaarten (54), Thalictrum purpurascens (54a) und Ficus hirta (54b).

Vermehrung der Chromatophoren. Sie erfolgt durch Teilung, und zwar durch einen direkten Teilungsvorgang, der auf Einschnürung beruht und annähernd gleich große Hälften liefert. Am besten läßt sich dieser Teilungsvorgang bei den Chloroplasten verfolgen (Fig. 99).

B. Zellfusionen.

Die Verbindung der lebenden Protoplasten untereinander ist im Körper der Pflanzen weniger vollkommen als im Körper der Tiere. Es erklärt sich das aus dem Vorhandensein der Zellhäute, von welchen die pflanzlichen Protoplasten umschlossen sind. Doch haben die neueren Untersuchungen gezeigt (55), daß durch die Zellwände hindurch die pflanzlichen Protoplasten mit Hilfe äußerst feiner Cytoplasmafäden, die von der Hautschicht ausgehen und als Plasmodesmen bezeichnet werden können, zusammenhängen. Meist sind diese Fäden auf die Schließhäute der Tüpfel (Fig. 100) beschränkt, doch können sie auch die Zellhäute ihrer ganzen Dicke nach durchsetzen (Fig. 101). Diese Verbindung der Protoplasten durch Fäden aus lebender Substanz erhebt den ganzen Pflanzenkörper zu einer organischen Einheit.

Durch wesentlich dickere Schleimstränge, die dem unmittelbaren Substanzaustausch dienen, werden die aufeinander folgenden Glieder der Siebgefäße, oder wie man sie gewöhnlich nennt, der Siebröhren verbunden. Die von jenen Schleimsträngen durchsetzten Querwände haben wir bereits als Siebplatten (S. 58) kennen gelernt. Bei Angiospermen erreichen die Poren der Siebplatten den weitesten Durchmesser (Fig. 102). Merkwürdig ist das Verhalten der Siebröhrenglieder dadurch, daß ihr cytoplasmatischer Wandbeleg noch längere Zeit am Leben bleibt, nachdem ihre Zellkerne

aufgelöst wurden. In ihrem Saftraum führen die Siebröhren wäßrige, mehr oder weniger verdünnte Eiweißlösungen, außerdem finden sich in ihnen

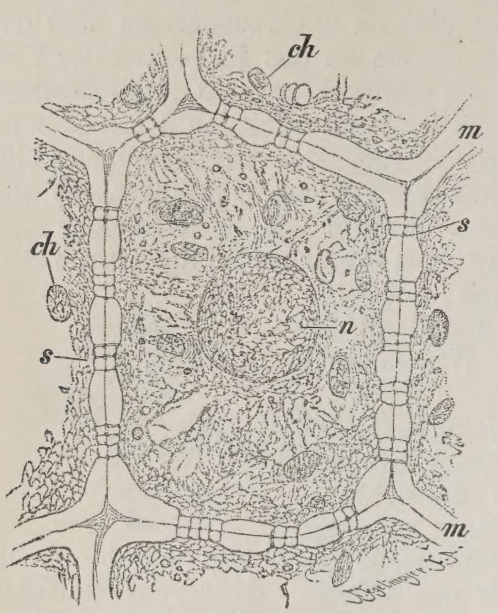


Fig. 100. Eine Zelle aus der Rinde der Mistel (Viscum album) nach entsprechender Härtung und Färbung der Protoplasten und Quellung der Wände (*m*). Die Schließhäute (*s*) der Tüpfel von Plasmodesmen durchsetzt, *ch* Chloroplasten, *n* Zellkern. Vergr. 1000.

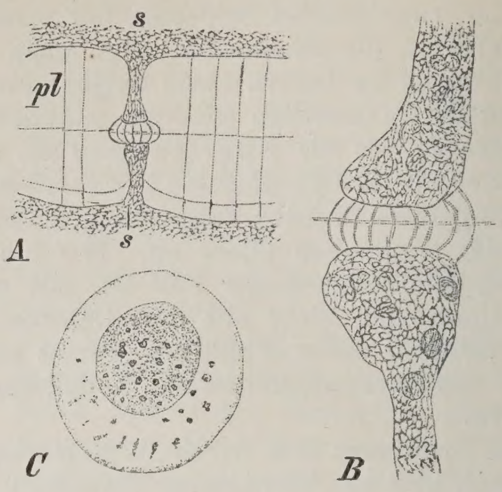


Fig. 101. *A* Ein etwas gequollenes Wandstück aus dem Endosperm der Elfenbeinpalme (Phytelephas macrocarpa). Bei *s* und *s* die aufeinander treffenden, mit Cytoplasma erfüllten Tüpfelkanäle der beiden angrenzenden Zellen, in der Schließhaut zarte Plasmodesmen, außerdem die ganze Dicke der Zellwand durchsetzende Plasmodesmen *pl*. Vergr. 375. *B* Der Inhalt der beiden angrenzenden Tüpfelkanäle und die Plasmodesmen der Schließhaut. 1500 mal vergr. *C* Die Mündungsstelle eines Tüpfelkanals und die Plasmodesmen der Schließhaut von der Fläche gesehen, bei 1500facher Vergrößerung.

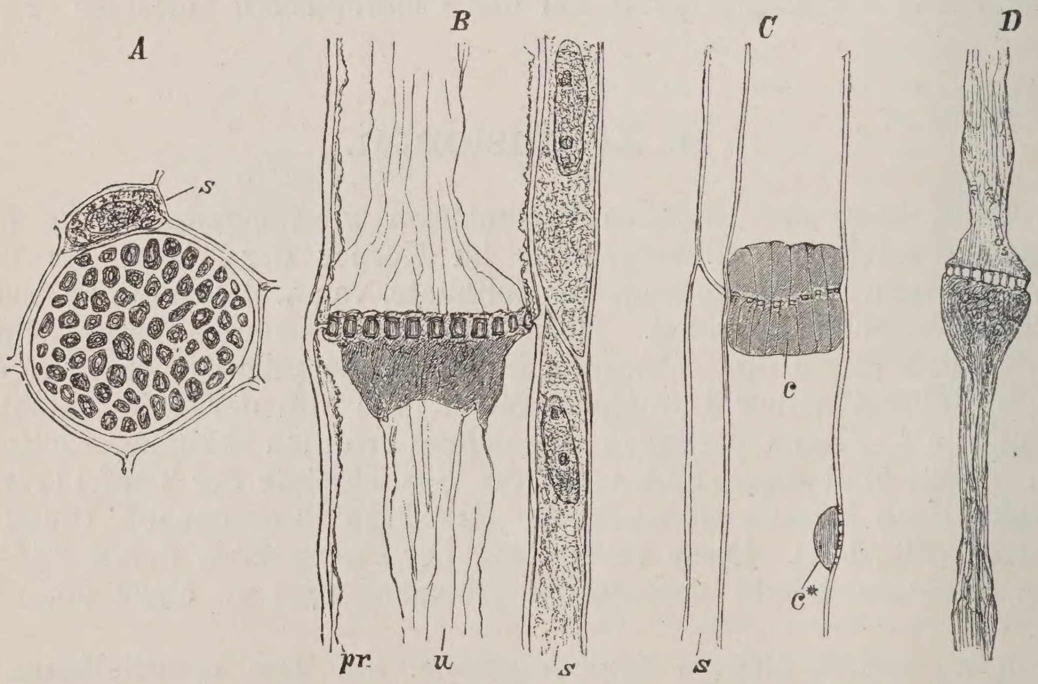


Fig. 102. Teile von Siebröhren des Kürbis (Cucurbita Pepo) in Alkohol gehärtet. *A* eine Siebplatte von oben gesehen. *B* und *C* je zwei aufeinander folgende Siebröhrenglieder im Längsschnitt, *D* die Inhaltmassen von zwei Siebröhrengliedern nach Schwefelsäurebehandlung. *s* Geleitzelle, *u* eiweißhaltiger Inhalt, *pr* Wandbeleg aus Cytoplasma, *c* Callusplatte, *c** kleiner seitenständiger Siebtüpfel mit Callusplatte. Vergr. 540.

fast immer kleine Stärkekörner vor. Die Wandungen der Siebröhren sind stets unverholzt. Im allgemeinen funktionieren die Siebröhren nur durch

eine oder durch wenige Vegetationsperioden. Bevor sie außer Tätigkeit treten, werden ihre Siebplatten mit stark lichtbrechenden Callusplatten (S. 60) belegt (Fig. 102 *C*).

Viel weiter noch als in den Siebröhren schreiten die Verschmelzungen der Protoplasten in den Milchgefäßen fort. Die Milchgefäße besitzen denselben Bau und denselben Inhalt wie die Milchröhren (S. 62), unterscheiden sich von ihnen nur dadurch, daß sie aus Zellverschmelzungen hervorgehen. Wie das Vorkommen von Milchröhren, so ist auch dasjenige der Milchgefäße auf bestimmte Pflanzenfamilien beschränkt. Als die bekanntesten Beispiele für Milchgefäße seien die Papaveraceen, so der Mohn (Papaver) oder das durch die orangerote Färbung seines Milchsaftes ausgezeichnete Schöllkraut (Chelidonium) und die Compositen, so der Lattich (Lactuca) angeführt. Die Milchgefäße entstehen aus Reihen langgestreckter Zellen, deren Querwände mehr oder weniger vollständig aufgelöst werden. Meist zeigen solche Gefäße auch seitliche Verzweigungen, die dort, wo sie aufeinander treffen, alsbald unter Auflösung der Wandungen verschmelzen (Fig. 103). — Den Milchgefäßen in vieler Beziehung ähnlich verhalten sich auch die Schleimröhren([35 b]), die vielen Monokotylen zukommen. Ausser anorganischen Stoffen führt ihr Schleimsaft auch Eiweiß, Stärke, Glukose, Gerbstoffe.

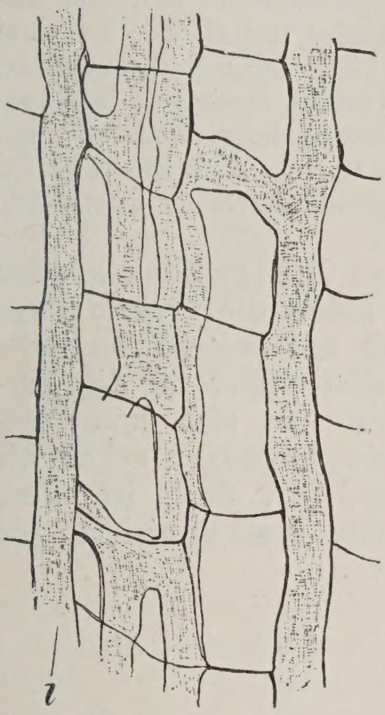


Fig. 103. Tangentialer Längsschnitt aus der Peripherie des Stengels von Scorzonera hispanica, die netzförmig verbundenen Milchgefäße zeigend. Vergr. 240.

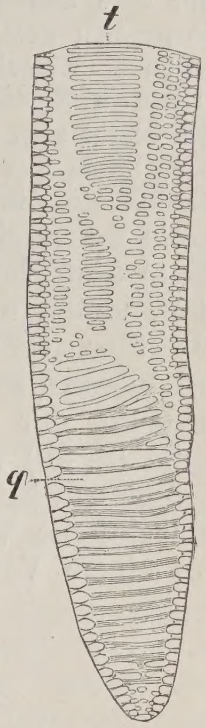


Fig. 104. Unteres Drittel eines Treppengefäßes aus dem Rhizom des Adlerfarn (Pteris aquilina). *t* die quergestreckten Tüpfel an den Seitenwänden, *q* die leiterförmig durchbrochene Endfläche. (Nach DE BARY.) Vergr. 95.

Auch die Bildung der Gefäße oder Tracheen der Pflanzen beruht auf einem Verschmelzungsvorgang, nur daß die verschmelzenden Zellen alsbald ihren lebendigen Inhalt einbüßen. So stellen die fertigen Gefäße nur tote, der Wasserleitung dienende Membranröhren vor. Sie gehen aus Reihen von Zellen hervor, die ihre Seitenwände zunächst schraubenförmig oder netzförmig verdicken, oder, wie das meist der Fall, mit Hoftüpfeln versehen, ihre Querwände hierauf zur Quellung bringen und mehr oder weniger vollständig auflösen. Stehen jene Querwände rechtwinklig zu den Seitenwänden, so werden sie meist mit einem einzigen runden Loch durchbrochen (Fig. 73 *C*, bei *s*), und nur ihr Rand bleibt als verdickter Ring zurück. Sind die Querwände schräg orientiert, so pflegen sie mehrere Löcher zu erhalten, und die zwischen denselben befindlichen Membranteile erscheinen dann wie die Sprossen einer Leiter. Man bezeichnet demgemäß auch diese Art der Wanddurchbrechung als die leiterförmige (Fig. 104 *q*). Der lebendige Inhalt der Gefäßglieder wird nach Durchbrechung der Querwände vollständig resorbiert,

die fertigen Gefäße führen, so lange sie in Tätigkeit sind, Wasser und begrenzte Mengen von Luft. Nach der Art der Wandverdickung wird zwischen Ring-, Schrauben-, Netz- oder Tüpfelgefäßen unterschieden. Folgen an den Seitenwänden quergestreckte Tüpfel regelmäßig in geraden Reihen übereinander (Fig. 104), so wird das Gefäß als Treppengefäß bezeichnet. Die Wandverdickung der Gefäße ist stets verholzt.

Zwischen Gefäßtracheïden und Gefäßen gibt es einen anderen Unterschied nicht, als daß erstere aus einzelnen gestreckten Zellen, letztere aus verschmolzenen Zellreihen hervorgehen. Für gewöhnlich werden Gefäßtracheïden in den noch in Längsstreckung begriffenen Pflanzenteilen ausgebildet, Gefäße dagegen nach vollendetem Längenwachstum. Echte Gefäße treten zum ersten Mal bei einigen Farnkräutern, so unserem Adlerfarn (Pteris aquilina), auf. Im übrigen bleiben die Gefäßkryptogamen, ungeachtet des Namens, den sie führen, auf Gefäßtracheïden angewiesen. Auch bei den Gymnospermen ist nur eine kleine Familie, die Gnetaceen, mit Gefäßen ausgestattet. Erst bei den Angiospermen gelangen die Gefäße zur Herrschaft. Die Länge der Gefäße ist nicht unbegrenzt. Einzelne können zwar, im besonderen bei den kletternden Holzgewächsen, den Lianen (S. 24), doch auch bei der Eiche, einige Meter Länge erreichen, im allgemeinen bleibt aber ihre Länge unter 1 m stehen, und bei Pflanzen, deren Holzkörper mit Gefäßen allein das Wasser leitet, hält sie sich meist nur um 10 cm. Maßgebend ist für die Gefäßlänge die Verteilung unperforierter, nur mit Hoftüpfeln versehener Querwände innerhalb des an sich kontinuierlichen Gefäßsystems.

Eine ähnliche Verschmelzung, wie wir sie bei den Milchgefäßen kennen lernten, bieten uns oft auch die Hyphen der Pilze, indem die Wände ihrer aufeinander treffenden Zweige aufgelöst werden und der protoplasmatische Inhalt hierauf zur Vereinigung kommt. — Noch vollständiger ist die Verschmelzung der nackten Myxomyceten-Amöben, wenn sie sich zum Plasmodium (S. 49) vereinigen. Auch bei den Befruchtungsvorgängen sehen wir die generativen Zellen miteinander verschmelzen (S. 76), doch ist diese geschlechtliche Vereinigung durch bestimmte Merkmale charakterisiert, die sie zu einem Vorgang eigener Art erheben.

II. Gewebelehre (56).

Ursprung und allgemeine Eigenschaften der Gewebe. Jeder innigere Verband von Zellen wird als Gewebe bezeichnet. Die Entstehung pflanzlicher Gewebe ist im allgemeinen auf Zellteilung zurückzuführen. Nur bei den Pilzen und Schlauchalgen (Siphoneen) werden Gewebe durch Verflechtung schlauchförmiger Zellen, beziehungsweise Zellfäden, erzeugt (Fig. 105). Ist das Geflecht besonders dicht und kommt es zu einer innigen Vereinigung der verflochtenen Zellen, so macht das Produkt durchaus denselben Eindruck, wie ein Gewebe der höher organisierten Pflanzen (Fig. 106).

Die gegenseitige Abhängigkeit der Zellen in einem Gewebe gibt sich in dem Aufeinandertreffen der Tüpfel (Fig. 66, 70, 71) und sonstigen Übereinstimmungen der Membranverdickungen zu erkennen.

Die zu einem Gewebe verbundenen Zellen schließen entweder lückenlos zusammen (Fig. 70), oder sie sind stellenweise voneinander getrennt. Solche Lücken im Gewebe werden Zwischenzellräume oder Intercellularräume, auch kürzer Intercellularen genannt. In Geweben, die durch Verflechtung von Zellfäden entstanden sind, stellen die Intercellularen zurückgebliebene Zwischenräume dar (Fig. 105). In Geweben, die aus Zellteilungen hervor-

gingen, müssen die Intercellularen nachträglich sich bilden, denn die Scheidewand, die eine Zelle teilt, ist ihrer ganzen Ausdehnung nach einfach.

Erst später, und zwar nach vorausgegangener Verdickung, wird somit die ursprüngliche Scheidewand gespalten und ein Intercellularraum erzeugt. Ursache der Spaltung ist die Abrundung der Zellen durch späteres Wachstum. Demgemäß geht die Bildung der Intercellularen meist von den Zellkanten aus. Die aus pektinartigen Stoffen bestehende primäre Wandung verquillt an den entsprechenden Stellen.

Der einfachste und zugleich häufigste Fall ist der, daß die Intercellularen im Querschnitt die Gestalt kleiner Dreiecke und Vierecke besitzen (Fig. 66 *i*, 74 *i*). Sie verdanken einer Spaltung der Zellwand ihre Entstehung und werden als schizogene bezeichnet. Bei bevorzugtem Wachstum bestimmter Zellwandstellen werden derartige schizogene Intercellularen zu größeren Kammern oder Gängen von mehr oder weniger regelmäßiger Gestalt erweitert. Ungleich verteiltes Wachstum führt oft zur völligen Trennung benachbarter Zellen, ja auch zu einer Dehnung und Zerreißung einzelner Zellen oder ganzer Gewebegruppen. Die hohlen Stengel entstehen beispielsweise auf diesem letzten Wege. Solche auf Zerreißung oder Auflösung von Zellen zurückzuführende Intercellularen heißen lysigene. — Die meisten Intercellularen führen Luft, doch enthalten sie auch in bestimmten Fällen Wasser, in anderen Ausscheidungsprodukte wie Gummi, Schleim, Harz oder ätherische Öle, in noch anderen Fällen, doch selten, Milchsaft. Meist bildet Luft den Inhalt schizogener Intercellularen, deren allgemeine Aufgabe auch tatsächlich in der Durchlüftung des Pflanzenkörpers liegt, während die lysigenen Intercellularen oft Wasser oder Sekrete enthalten.

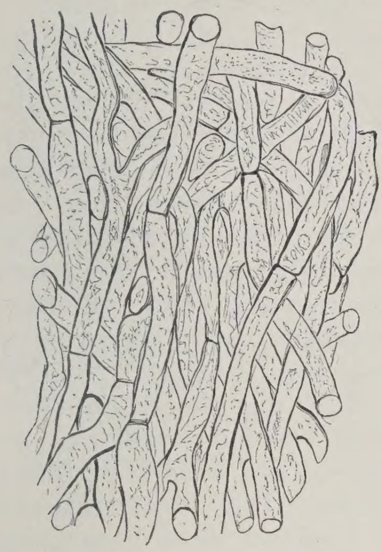


Fig. 105. Längsschnitt durch den Stiel des Fruchtkörpers des Steinpilzes (Boletus edulis). Vergr. 300.

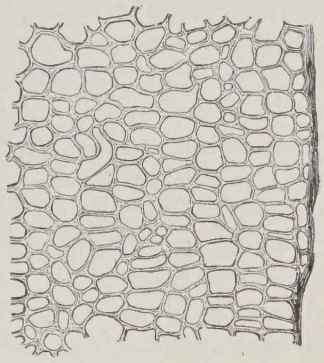


Fig. 106. Längsschnitt durch das Mutterkorn (Sclerotium von Claviceps purpurea). Vergr. 300.

Unter den schizogenen Intercellularen wäre das Verhalten der mit ätherischem Öl oder Harz erfüllten besonders hervorzuheben. Ätherisches Öl führende kürzere Räume oder längere Gänge sind im Stamm, in den Wurzeln und Blättern bei zahlreichen Pflanzenfamilien anzutreffen; im besonderen reich an ihnen sind die Umbelliferen, bei welchen Ölgänge auch die charakteristischen Striemen (Vittae) in den Früchten bilden. Mit Harz erfüllte Kanäle zeichnen die Nadelhölzer (Koniferen) ganz besonders aus (Fig. 140 *h*). Schon während des Auseinanderweichens der Zellen erscheint der sich bildende Sekretbehälter mit Sekret erfüllt. Die Erweiterung des Sekretbehälters wird meist von einer Teilung der ihn umgebenden Zellen begleitet, deren Zahl sich entsprechend vermehrt zeigt. Diese Zellen bleiben dünnwandig, schließen seitlich dicht aneinander, wölben sich auch wohl in den Sekretraum vor. — Die lysigenen Sekretbehälter stellen unregelmäßige Hohlräume im Gewebe vor. So weit sie ätherisches Ol oder Harz führen, gehen sie aus Zellgruppen hervor, in welchen diese Stoffe zunächst in Tröpfchen auftreten. Dann werden die Wände der Zellen allmählich aufgelöst. Die Auflösung schreitet von der Mitte der Zellgruppe gegen die Peripherie fort. In solcher Weise entstehen unter anderem die mit ätherischen Ol erfüllten Sekretbehälter der Rutaceen, z. B. bei Dictamnus, oder der Aurantieen, z. B. in den Orangen und Zitronen. Der Entstehung von sogen. Harzdrüsen oder Harzgallen bei den Koniferen geht die Bildung eines abnormen Gewebes voraus, das weiterhin verharzt. Solchen Ursprung hatte auch

der Bernstein, der das fossile Harz der Bernsteinfichte (Picea succinifera) ist. In lysigenen Gummihöhlen geht die Gummibildung von den Zellwandungen aus. Entweder wird normales Gewebe von dieser Veränderung ergriffen, so bei der Entstehung des Gummi arabicum in den Akazien, oder abnormes Gewebe wird zunächst erzeugt und geht dann in Gummi über, so bei der Entstehung des Kirschgummi. — Milchsaft kommt in lysigenen Intercellularen nicht vor.

Alle bei der Zellteilung erzeugten Scheidewände sind einfache Membranlamellen. In jedem durch Zellteilung erzeugten Gewebe kommen diese Lamellen den angrenzenden Zellen somit gemeinsam zu. Die auf Querschnitten durch älteres Gewebe hervortretenden, den angrenzenden Zellen scheinbar gemeinsamen Membranteile bestehen aber meist nicht aus den primären Zellwänden allein, sondern aus diesen und den primären Verdickungsschichten. Man hat sie als Mittellamellen bezeichnet (Fig. 66 *m*, 70 *m*). In weichen Geweben bestehen die Mittellamellen nach Mangin (30) vornehmlich aus einem mit Kalk verbundenen Pektinstoffe (Calciumpectat), in verholzten und verkorkten Geweben sind sie ähnlich zusammengesetzt, außerdem aber verholzt. In weichen Geweben lassen sich die Zellen schon durch Kochen im Wasser, welches die Mittellamellen zum Quellen bringt, voneinander trennen. In reifen Früchten tritt diese Verquellung von selbst ein, daher die Zellen sich vielfach isolieren. Verholzte Mittellamellen widerstehen hingegen oft besonders gut der Einwirkung oxydierender Mittel. Demgemäß lassen sich durch das Schultzesche Macerationsgemisch (chlorsaures Kali und Salpetersäure) bei nachfolgender Behandlung mit koncentrierter Schwefelsäure aus Querschnitten durch Kiefernholz alle sekundären und tertiären Membranschichten entfernen, so daß nur die Mittellamellen als zartes Netzwerk zurückbleiben. Wird das Macerationsverfahren aber längere Zeit fortgesetzt ohne nachherigen Zusatz von Schwefelsäure, so führt das schließlich zur Auflösung der Mittellamellen, während die ihres Holzstoffes beraubten Verdickungsschichten der Membranen zurückbleiben. Das Schultzesche Macerationsverfahren wird daher auch angewandt, um die Elemente eines verholzten Gewebes voneinander zu trennen. Das chemisch abweichende Verhalten der Mittellamellen führte seinerzeit zur Annahme einer besonderen Intercellularsubstanz, die als Kitt die Zellen in den pflanzlichen Geweben verbinden sollte. — Die nachträgliche Einlagerung von Pektinverbindungen (S. 60) in die Mittellamellen führt in manchen Fällen zur Bildung von Stäbchen und Warzen, die in die Intercellularen hineinragen, oder zur Ausfüllung dieser Intercellularen und Bildung sogen. Zwickel (Fig. 70 *C*, *m**). Die Auskleidung der Intercellularen mit Pektinstoffen, die durch Chlorzinkjod gelbbraun gefärbt werden, hatte vorübergehend zu der irrigen Annahme geführt, es seien die Intercellularen der Pflanzen mit einer dünnen Schicht von lebendem Cytoplasma überzogen.

Gewebearten. Die fertigen pflanzlichen Gewebe lassen sich der Hauptsache nach in zwei Gruppen scheiden, zwischen welchen aber eine scharfe Grenze nicht zu ziehen ist, in Parenchyme und in Prosenchyme. Als typisch ausgebildetes parenchymatisches Gewebe kann ein solches gelten, dessen Zellen dünnwandig, in allen Richtungen annähernd gleich stark ausgedehnt sind, einen protoplasmatischen Wandbeleg und verschiedene Inhaltsstoffe führen. Als extrem ausgebildetes prosenchymatisches Gewebe ist ein solches anzusehen, das aus dickwandigen, in einer Richtung besonders ausgedehnten Zellen besteht, die spindel- oder faserförmig gestaltet sind, mit ihren zugespitzten Enden fest zwischen einander greifen, deren protoplasmatischer Wandbeleg sehr reduziert oder ganz geschwunden ist und in denen sonstige Inhaltsstoffe meist fehlen. — Dickwandiges gestrecktes Parenchym kann dem Prosenchym sehr ähnlich werden, von ihm sich aber noch durch die mangelnde Zuspitzung der Zellenden, beziehungsweise auch reichlicheren Inhalt unterscheiden. Dünnwandige Prosenchyme brauchen andererseits nicht immer inhaltsarm zu sein, müssen sich aber doch durch Zuspitzung und Ineinandergreifen ihrer Zellenden als Prosenchym kennzeichnen.

Ein noch undifferenziertes Gewebe, das in der Zellvermehrung steht,

wird embryonales Gewebe oder Meristem genannt. Die Meristeme der embryonalen Anlagen und der Vegetationspunkte werden als Urmeristeme, alle von diesem Urmeristem direkt abzuleitenden Meristeme als primäre bezeichnet. Solche primären Meristeme vermögen auch zwischen fertigen Geweben ihren meristematischen Charakter zu behalten. Fertig ausgebildete Gewebe heißen im Gegensatz zu den Meristemen Dauergewebe, werden ihnen auch als somatische Gewebe gegenübergestellt. Unter Umständen tritt ein Dauergewebe wieder in Zellteilung ein und bildet ein sekundäres Meristem oder Folgemeristem.

Bestimmte Gewebe sind im Pflanzenkörper zu höheren histologischen Einheiten vereinigt und werden dann als Gewebesysteme bezeichnet. Es lassen sich drei solcher Gewebesysteme bei den höher organisierten Pflanzen unterscheiden: das Hautgewebesystem, das Gefäßbündelsystem und das Grundgewebesystem.

Die Gewebe, welche an dem Aufbau der Gewebesysteme beteiligt sind, müssen aber, ihrer Entstehung nach, in primäre und sekundäre geschieden werden. Die primären sind solche, welche aus dem Urmeristem und primären Meristemen vor beendigtem Längenwachstum hervorgehen, die sekundären solche, welche den primären Meristemen oder den Folgemeristemen nach beendetem Längenwachstum ihre Entstehung verdanken.

Wir müssen zuerst die primären Bestandteile der Gewebesysteme kennen lernen.

A. Primäre Gewebe.

Das Hautgewebesystem. Erst bei den Pteridophyten und Phanerogamen wird eine äußere Zellschicht an der Körperoberfläche als Oberhaut oder Epidermis scharf abgegrenzt, während diese Sonderung den niederen Gewächsen fast ausnahmslos noch abgeht. Eine typisch ausgestaltete Epidermis ist fast immer einschichtig (Fig. 74*c*), die Wände ihrer Zellen an der freien Außenfläche stärker verdickt. Im besonderen weisen alle für längere Lebensdauer eingerichteten, oberirdischen Pflanzenteile eine solche Verdickung auf, während diese an den vergänglichen Blumenblättern fehlt und auch an unterirdischen Pflanzenteilen, so vor allem den Wurzeln, nicht zur Ausbildung kommt. Daher man die Epidermis der Wurzel öfters, jetzt noch, als Epiblem bezeichnet. Auch diejenigen Epidermiszellen, die an ihrer Außenseite stark verdickt sind, behalten in größerer oder geringerer Ausdehnung dünne Seitenwände. Die Außenwände der Epidermis an oberirdischen Pflanzenteilen sind mehr oder weniger cutinisiert; sie wer-

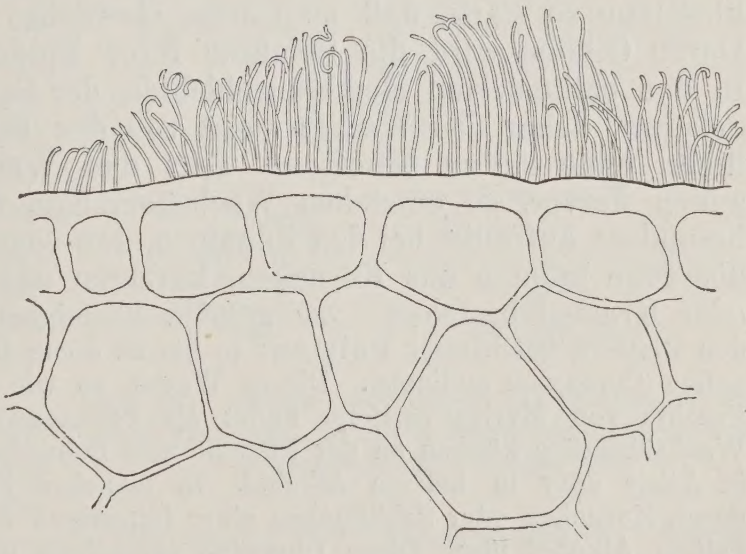


Fig. 107 Querschnitt durch einen Stengelknoten des Zuckerrohrs (Saccharum officinarum) mit stäbchenförmigem Wachsüberzug. Vergr. 540.

den von einem zarten Häutchen bedeckt, das ununterbrochen über sie fortläuft und Cuticula heißt. Diese Cuticula scheint an der Epidermis der Wurzeln stets zu fehlen ([56a]). Wo sie vorhanden, ist die Cuticula besonders stark cutinisiert und widersteht selbst der Einwirkung koncentrierter Schwefelsäure. Sie geht aus den primären Wänden der jüngeren Epidermiszellen, die während der Größenzunahme der Pflanzenteile gestreckt und durch Einlagerung von Cutin verstärkt werden, hervor. Häufig ist die Cuticula etwas faltig und erscheint infolgedessen wie gestreift (Fig. 113). Durch Verdickung und Cutinisierung ihrer Außenseite wird die mechanische Leistungsfähigkeit der Epidermiszellen erhöht und die Transpirationsgröße herabgesetzt. Durch besonders starke Verdickung und Cutinisierung der Außenwände pflegen die Epidermen von Pflanzen trockener Klimate, oder solcher, bei welchen aus anderen Gründen die Transpiration an der Oberfläche herabgesetzt werden muß, ausgezeichnet zu sein. Bei vielen Gramineen, den Schachtelhalmen (Equiseten) und manchen anderen Gewächsen sind die Zell-

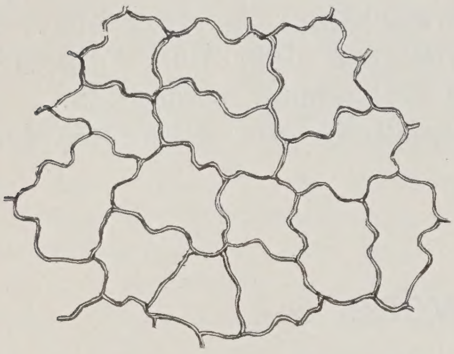


Fig. 108. Flächenansicht der Epidermis von der Blattoberseite von Mercurialis perennis. Vergr. 300.

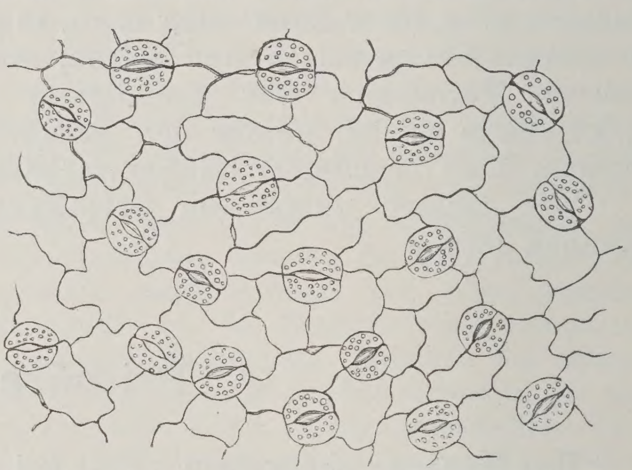


Fig. 109. Epidermis mit Spaltöffnungen von der Blattunterseite von Helleborus niger. Vergr. 120.

wände der Epidermis verkieselt. Bei den Schachtelhalmen ist die Verkieselung so stark, daß man diese Gewächse zum Polieren benutzen kann. Durch Glühen wird die Struktur ihrer Epidermiszellen nicht zerstört. — In den cutinisierten Membranschichten der Epidermis ist auch Wachs eingelagert, daher das Wasser meist von der Epidermis der Pflanzenteile abfließt, ohne sie zu benetzen. Tritt das Wachs aus der Epidermis nach außen hervor, so entstehen Wachsüberzüge, welche an Früchten, und zwar besonders auffällig bei den Pflaumen, den sogen. Reif bilden. Diese Wachsüberzüge können aus Körnchen, kürzeren oder längeren Stäbchen (Fig. 107) oder Krusten bestehen. Zur größten Mächtigkeit gelangen die Wachskrusten auf den Blättern bestimmter Palmen; so bis zu 5 mm Dicke bei der peruanischen Wachspalme (Ceroxylon andicola). Dieses Wachs, so wie dasjenige von der Oberfläche der Früchte von Myrica cerifera, findet als Pflanzenwachs technische Verwertung. Die Wachsüberzüge können an der Flamme zum Schmelzen gebracht werden, sie lösen sich in Äther oder in heißem Alkohol. In manchen Fällen werden die Wachsüberzüge durch Körnchen oder Schüppchen einer fettartigen Substanz ersetzt, die sich schon in kaltem Alkohol löst. Diese Überzüge erscheinen mehligweiß oder goldgelb, und sie sind es, die uns bei den Silber- und Goldfarnen, besonders Gymnogramme-Arten, auffallen.

Zwischen den Verdickungsschichten der Epidermiszellen und der Cuticula wird in manchen Fällen eine schleimige, beziehungsweise klebrige Substanz erzeugt, welche die Cuticula abhebt und schließlich sprengt. Solche secernierenden Drüsenflächen finden sich öfters an Knospenschuppen,

manchmal als klebrige Zone am Stengel, so bei Lychnis viscaria und noch anderen Sileneen, um die höher gelegenen Blüten vor unbefugtem Besuch zu schützen. Kleine Tiere, die sonst den Blütenhonig aufzehren würden, vermögen nämlich diese klebrige Zone ebensowenig zu überschreiten, wie andere größere Tiere den Pechring, den man am Stamm von Obstbäumen anbringt. Secernierende Epidermisflächen sind es andererseits, welche die Oberfläche von Blütennektarien bilden und durch das süße Sekret, das sie bilden, diejenigen Tiere, meist Insekten, anlocken, welche die Bestäubung vermitteln.

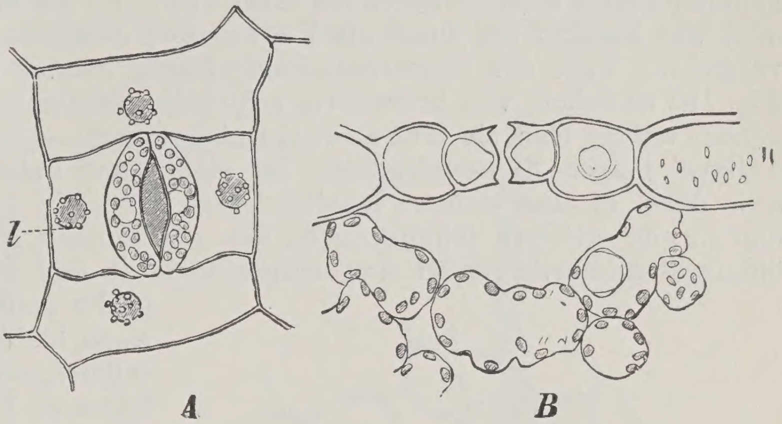


Fig. 110. Epidermis der Blattunterseite von Tradescantia virginica. *A* von außen, *B* im Querschnitt, *l* farblose Anlagen von Chromatophoren in der Nähe der Zellkerne. Vergr. 240.

Die Zellen der Epidermis sind lückenlos miteinander verbunden; ihre seitlichen Umrisse meist wellig (Fig. 108). Der protoplasmatische Inhalt der Epidermiszellen erscheint für gewöhnlich auf einen dünnen Wandbeleg eingeschränkt; ihr Saftraum ist mit farblosem Zellsaft erfüllt, der unter Umständen aber auch gefärbt sein kann; ihre Chromatophoren umgeben meist in Gestalt kleiner, farbloser Anlagen den Zellkern, und zeigen somit, daß auch im Lichte die Ausbildung dieser Anlagen zu Chloroplasten unterbleiben kann, wenn die Zelle nicht bestimmt ist, sich an dem Assimilationsvorgang zu beteiligen. Solche Epidermiszellen mit unentwickelten Chromatophoren-Anlagen haben außer der Aufgabe des Schutzes und Abschlusses nach außen, auch noch die, als Wasserbehälter zu fungieren. Die unverdickten Partien der Seitenwände dieser Zellen können Falten bilden und befähigen sie so zu einem blasebalgartigen Spiel, das ihr Anschwellen bei Wasserzufuhr, ihr Zusammensinken bei Wassermangel ermöglicht. — Bei Schattenpflanzen sind die Epidermiszellen meist chlorophyllhaltig.

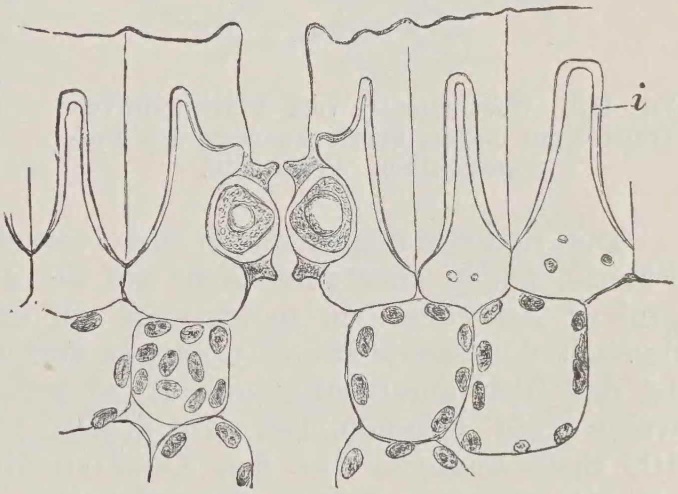


Fig. 111. Querschnitt durch die Epidermis von Aloë nigricans, *i* innere, nicht cutinisierte Verdickungsschicht. Vergr. 240.

Für die Epidermis aller an der Luft lebenden Teile höher organisierter Gewächse ist die Ausbildung von Spaltöffnungen (Stomata) ([57]) charakteristisch. Diesen Namen führen elliptische Zellenpaare, die zwischen sich einen spaltenförmigen Intercellulargang ausbilden (Fig. 109). Die beiden Zellen (Fig. 110 *A*) heißen Schließzellen. Sie sind stets chlorophyllhaltig und zeichnen sich durch die eigentümliche Art ihrer Verdickung aus. Diese wird besonders an Querschnitten (Fig. 110 *B*) kenntlich. Sie beruht auf der Ausbildung je einer oberen und unteren Verdickungsleiste an der Spaltseite der Schließ-

zellen. In halber Höhe unterbleibt hingegen die Verdickung an jener Seite, wie das im besonderen der Querschnitt Fig. 111 zeigt.

Wie unsere Querschnitte in Fig. 110 *B* und 111 lehren, springen die Schließzellen an den verdickten Stellen nach der Spalte vor, was den Verschluß derselben noch erleichtert. Die Fig. 111 zeigt zugleich deutlich, daß an der Einfügungsstelle der Schließzellen die verdickte Außenwand der angrenzenden Epidermiszellen sich plötzlich verdünnt, wodurch gewissermaßen Scharniere entstehen, welche die Schließzellen von den benachbarten Epidermiszellen fast unabhängig machen. Dasselbe Ergebnis wird in anderen Fällen erreicht durch ein Emporheben der Spaltöffnungen über die Epidermis, oder was häufiger ist, durch ein Versenken derselben zwischen die unteren, schwächer verdickten Teile der Epidermiszellen. Häufig endlich werden die Schließzellen, wie in Fig. 110 zu sehen, von besondern, schwächer verdickten oder weniger hohen Zellen umgeben, welche man als Nebenzellen bezeichnet. — Die Spaltöffnungen entstehen durch Teilung junger Epidermiszellen. Im einfachsten Falle zerfällt eine junge Epidermiszelle dabei in eine kleinere inhaltsreichere Zelle, die zur Spaltöffnungsmutterzelle wird, und in eine größere inhaltsärmere, die gewöhnliche Epidermiszelle bleibt. Die Spaltöffnungsmutterzelle rundet sich ellipsoidisch ab und teilt sich durch eine Längswand in die beiden Schließzellen. In der Längswand bildet sich hierauf der Spalt als Intercellulargang aus. — Oft folgen mehrere Zellteilungen in der jungen Epidermiszelle aufeinander, bevor die Spaltöffnungsmutterzelle entsteht. Dann ist die fertige Spaltöffnung meist von Nebenzellen umgeben.

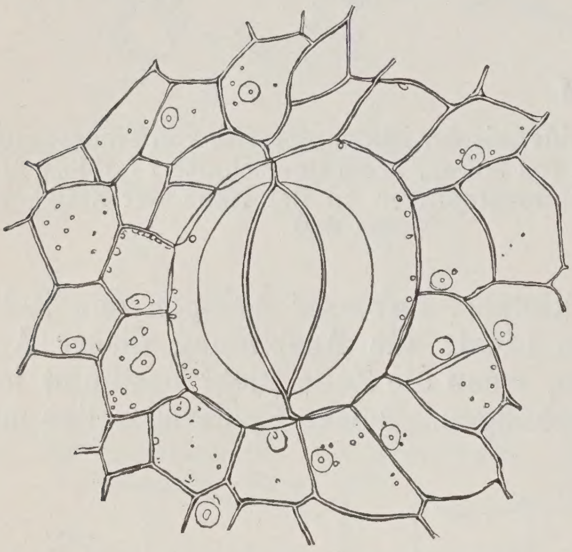


Fig. 112. Wasserspalte vom Blattrande von Tropaeolum majus, nebst angrenzenden Epidermiszellen. Vergr. 240.

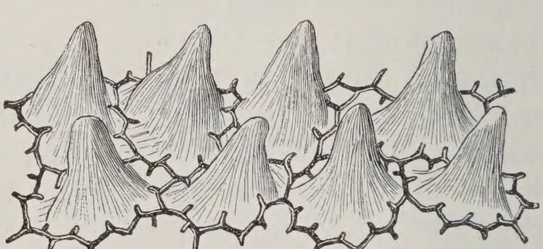


Fig. 113. Oberhaut vom Blumenblatte des Stiefmütterchens, Viola tricolor. Die Zellen mit faltenartigen Leisten an den Seitenwänden und mit vorspringenden Papillen. Vergr. 250.

Die Spaltöffnungen finden sich vornehmlich auf den grünen Teilen der Pflanze, fehlen aber auch nicht auf den anders gefärbten Blumenblättern. In größter Zahl sind sie naturgemäß auf den Laubblättern vertreten, um dort den mit den Assimilationsvorgängen verknüpften Gasaustausch zu erleichtern. Ist das Blatt dorsiventral gebaut, so stehen die Spaltöffnungen vornehmlich, wenn nicht ausschließlich, an dessen Unterseite. Dort findet man etwa 100 Spaltöffnungen auf den Quadratmillimeter; doch kann diese Zahl bis auf 700 steigen. Blätter, die auf beiden Seiten gleich gebaut sind, pflegen, bei mehr oder weniger senkrechter Stellung der Spreite, auch auf beiden Seiten mit Spaltöffnungen versehen zu sein. Schwimmende Blätter von Wasserpflanzen besitzen Spaltöffnungen nur auf ihrer der Luft zugekehrten Oberseite. In manchen Fällen, wie beim Oleander (Nerium Oleander), nehmen die Spaltöffnungen besondere krugförmige Vertiefungen der Blattunterseite ein und sind dort in größerer Zahl zusammengedrängt. — Unter jeder Spaltöffnung befindet sich im Blattgewebe ein großer Intercellularraum, die sogen. Atemhöhle (Fig. 110 *B*). Sie steht mit den übrigen Intercellularen des Blattgewebes in Verbindung. Diese pflegen bei Pflanzen feuchter Standorte weiter als bei denjenigen trockener Standorte zu sein.

Alle dem Gasaustausch dienenden Spaltöffnungen können als Luftspalten zusammengefaßt und den Wasserspalten gegenübergestellt werden, welche weit spärlicher vertreten sind, vielen Pflanzen überhaupt fehlen, stets nur über den Nervenendigungen der Blätter sich befinden und der Ausscheidung von Wasser, beziehungsweise wäßriger Lösungen dienen. In letzteren ist kohlensaurer Kalk besonders häufig vertreten, der dann, wie an den Blatträndern vieler Steinbrech-(Saxifraga-)Arten, weiße Schüppchen über den Wasserspalten bildet. Vielfach führen junge Blätter an ihrer Spitze und den Spitzen ihrer Zähne Wasserspalten, die am fertigen Blatte vertrocknet sind. Meist verlieren die beiden Schließzellen der Wasserspalten frühzeitig ihren lebendigen Inhalt, und der Spalt zwischen ihnen

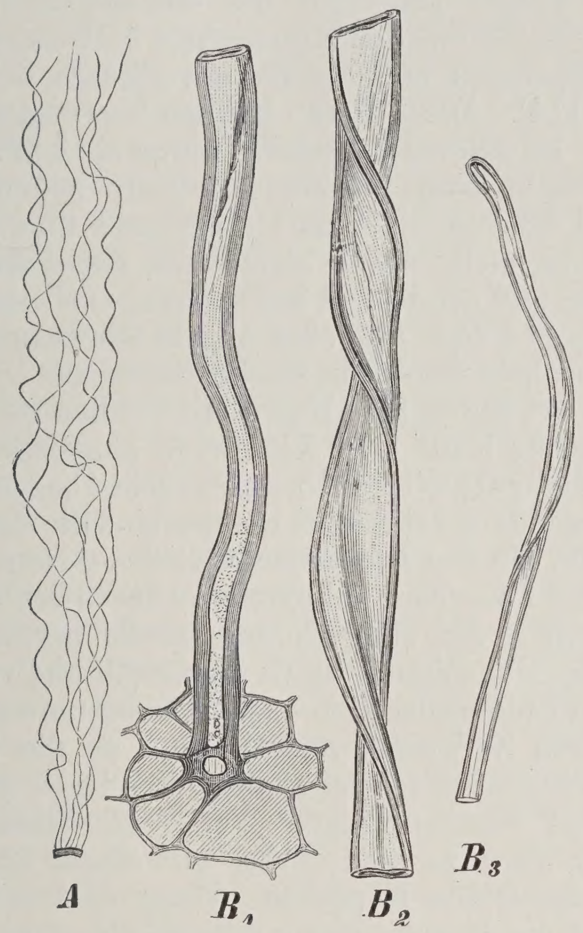


Fig. 114. Samenhaare der Baumwolle, Gossypium herbaceum. *A* Ein Stück der Samenhaut mit Haaren, 3 mal vergrößert, B_1 Ansatzstelle und unterer Teil, B_2 mittlerer Teil, B_3 oberer Teil eines Haares 300 mal vergrößert.

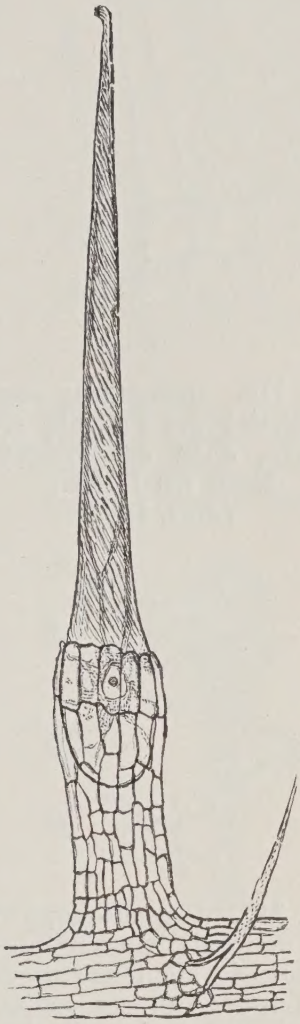


Fig. 115. Brennhaar von Urtica dioica, nebst einem Stück Epidermis, auf dieser rechts eine kleine Borste. Vergr. 60.

steht dann unverändert weit offen. Die Wasserspalten sind größer als die Luftspalten, wie aus ihrem Bilde (Fig. 112) für die Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus) zu ersehen ist. Während an den Blättern submerser Pflanzen naturgemäß Luftspalten fehlen, kommen an ihnen nicht selten Wasserspalten vor.

Zu den charakteristischen Gebilden des Hautgewebesystems gehören auch die Haare oder Trichome und die äußeren Auswüchse. Die Zellen der Haare bleiben entweder lebendig, oder sie sterben ab und füllen sich mit Luft. Dann erscheint das Haar weiß. — In einfachster Form treten die Haare als kegelförmige Ausstülpungen der Epidermiszellen, als sogen. Papillen, in die Erscheinung. Solche sind an Blumenblättern sehr häufig (Fig. 113)

und erteilen ihnen ein sammetartiges Aussehen. Wachsen einzelne Epidermiszellen zu sehr langen Schläuchen aus, so entstehen entsprechend lange Haare, wie solche beispielsweise als Wurzelhaare (Fig. 53 *r*) für bestimmte Regionen der Wurzel (S. 38) bezeichnend sind. Nur begrenzte Stellen der Außenwand der Wurzelepidermiszellen sind es, die sich in solcher Weise ausstülpen. Von ähnlicher Gestalt sind oft Wollhaare, welche junge Pflanzenteile schon in der Knospe überziehen, alsbald absterben und dann entweder abgestreift werden, oder verbleiben, um als filziger Überzug den fertigen Pflanzenteil zu decken. Sie bilden einen Schirm, der vor direkter Insolation schützt oder auch durch Erschwerung des Gaswechsels die Verdunstung herabsetzt. Eine ungewohnte Länge erreichen die einzelligen Haare, welche der Epidermis der Samenschale bei Gossypium-Arten entspringen und als Baumwollhaare bekannt sind (Fig. 114). Diese Haare können bis 6 cm Länge erreichen. Im älteren Zustande führen sie Luft. Ihre Wand erreicht eine für Haare relativ bedeutende Dicke und ist von einer zarten Cuticula überzogen. Das Haar ist meist etwas abgeflacht, dreht sich um seine Achse und erreicht in halber Länge seine größte Breite (Fig. 114 B_2). Nur eine Anzahl Oberhautzellen der Samenschale wächst in solche Haare aus (B_1). — Relativ kurze, zugespitzte Haare mit verdickten Wänden, in welche Kalk oder Kieselerde eingelagert ist, werden als Borsten (Fig. 115, unten rechts) bezeichnet.

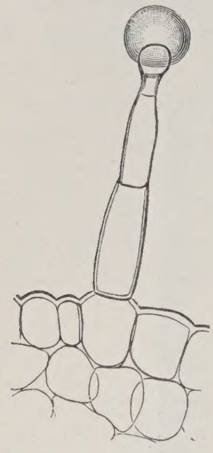


Fig. 116. Drüsenhaar vom Blattstiel der Primula sinensis, oben das Sekret. (Nach de Bary.) Vergr. 142.

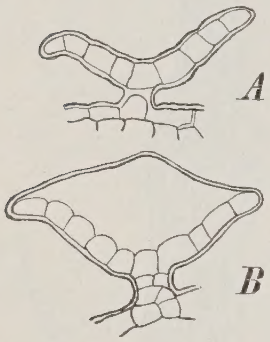


Fig. 117. Drüsenschuppen von den weiblichen Blütenständen des Hopfens (Humulus Lupulus) im senkrechten Durchschnitt. *A* vor Beginn der Sekretbildung, *B* die Cuticula durch das Sekret emporgehoben, das Sekret durch Alkohol entfernt. (Nach de Bary.) Vergr. 142.

Eine besondere Art solcher Borsten sind die Brennhaare, wie sie den Brennesseln (Urtica-Arten) (Fig. 115) und den Loasaceen zukommen. Diese Brennhaare gehen ebenfalls aus einer Epidermiszelle hervor, die während der Haarbildung stark anschwillt und von benachbarten Epidermiszellen becherförmig umwachsen wird. Durch Zellvermehrung in dem an die Haarbasis angrenzenden Gewebe erhält das Haar gleichzeitig einen säulenförmigen Fuß. Die Haarzelle spitzt sich oben zu und endet mit einem kleinen, schräg aufgesetzten Köpfchen. Unter diesem Köpfchen bleibt die Haarwandung unverdickt. Das Ende des Haares ist verkieselt, die übrigen Wandteile bis auf die untere Anschwellung, den Bulbus, verkalkt, das ganze Haar daher sehr steif. Es bildet eine Schutzvorrichtung gegen Tiere. Wird es berührt, so bricht sein Köpfchen ab, seine Spitze erhält die Form der Mündungsstelle einer Einstechkanüle, und dringt in die Haut ein, in die der Inhalt des Haares sich ergießt. Da dieser Inhalt sehr giftig ist, ruft er eine Entzündung, das sogen. Brennen, hervor, welches, wenn durch gewisse tropische Brennesseln verursacht, gefährlich werden kann.

Die einzelligen Haare, wie wir sie bisher allein ins Auge gefaßt haben, vermögen auch an ihrem freien Ende stark kugelig anzuschwellen, oder mit unregelmäßigen Anschwellungen an den Seitenwänden versehen zu sein; sie können auch kurz bleiben und blasenförmig sich erweitern; auch spießförmig längs der Epidermisoberfläche sich strecken, oder sich sternförmig ausbreiten. — Die vielzelligen Haare stellen entweder ein-

fache Reihen gleicher Zellen dar, so die uns schon bekannten Staubfadenhaare von Tradescantia (Fig. 60), oder ihre Endzelle schwillt kugelig an (Fig. 116), so bei der chinesischen Primel (Primula sinensis), oder sie breiten sich auf der Epidermis zu einem scheibenförmigen, sternförmigen oder schüsselförmigen (Fig. 117) Gebilde aus, oder sie verzweigen sich in dieser oder jener Weise, büßen ihren lebendigen Inhalt ein, füllen sich mit Luft und bilden wie die einzelligen Wollhaare seidige oder filzige Überzüge am Pflanzenkörper. In bestimmten Fällen, so bei Ausbildung der Spreuschuppen der Farne, erlangt das Haar die Gestalt eines Blättchens.

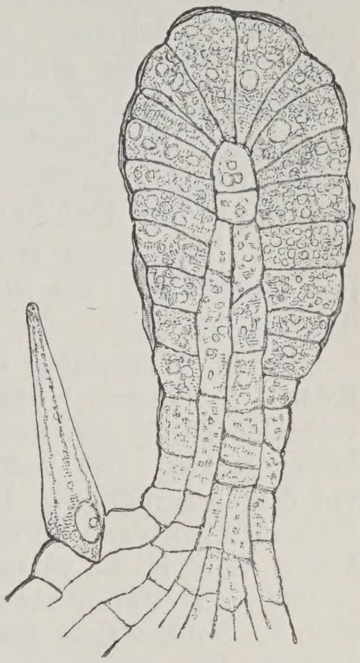


Fig. 118. Eine Drüsenzotte vom Nebenblatt von Viola tricolor, neben ihr ein einzelliges Haar. Vergr. 240.

An der Bildung der äußeren Auswüchse oder Emergenzen beteiligen sich außer der Epidermis mehr oder weniger tief reichende Partien des unter ihr gelegenen Gewebes. Nur wenige subepidermoidale Zellreihen setzen sich beispielsweise in die, im übrigen nur aus Epidermis aufgebauten Auswüchse fort, die sich an den Enden und an den Zähnen der Nebenblätter des Stiefmütterchen (Viola tricolor) befinden (Fig. 118). Tiefer reichende Zellschichten sind mit am Aufbau derjenigen Auswüchse beteiligt, welche als Stacheln den Rosenstrauch schützen, zugleich ihn zum Klettern befähigen. Besonders kräftige Entwicklung erreichen die S. 41 erwähnten, den Wurzeln der Podostemonaceen entspringenden Hapteren, die trotz ihrer Dicke im Innern doch nur aus Parenchym bestehen. Es gibt aber auch Auswüchse, in welche Gefäßbündel eintreten, so die keulenförmigen Digestionsdrüsen oder Tentakeln, welche das Sonnentaupflänzchen (Drosera) auf der Oberseite seiner Blätter trägt (Fig. 119). Manche dieser Gebilde nähern sich in ihrem Aussehen gewissen metamorphosierten Gliedern des Pflanzenkörpers, so die Stacheln den Dornen, die Hapteren den Seitenwurzeln, doch sind sie nicht auf solche Glieder zurückzuführen und unter sich nicht von gleichem Ursprung (S. 41).

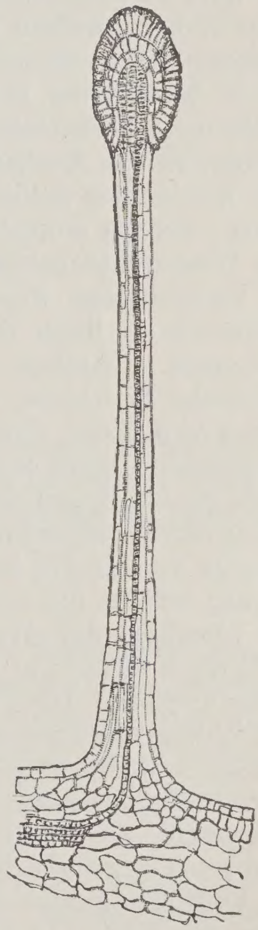


Fig. 119. Digestionsdrüsen von Drosera rotundifolia. Vergr. 60.

Die Haare und die Auswüchse vermitteln häufig die Sekretion, sie werden dann als Drüsen bezeichnet. Vielfach dienen sie der aktiven Wasserausscheidung, gegebenenfalls auch der Wasseraufnahme, und gehören dann zu den von G. Haberlandt([58a]) als Hydathoden bezeichneten Gebilden. Andere Drüsen scheiden harzige Stoffe aus, so die Haare mancher Primeln (Fig. 116). Bei diesen wird das harzige Sekret aus dem terminalen Köpfchen zwischen den Verdickungsschichten der Zellwand und der Cuticula ausgeschieden und hebt diese empor. Schließlich wird die Cuticula gesprengt und so das Sekret frei. Primula sinensis, mehr noch Primula obconica, können mit ihrem Sekret Haut- und Augenentzündungen beim Menschen veranlassen([59]). Nicht alle

Personen sind aber gegen dieses Gift gleich empfindlich. — Die gelben Drüsen (Fig. 117) an den Hochblättern der weiblichen, zapfenförmigen Blütenstände des Hopfens, scheiden das Lupulin, jenen Stoff, der dem Bier den bitteren Geschmack und ein bestimmtes Aroma erteilt, ebenfalls unter der Cuticula ab, die als gemeinsames Häutchen von der Oberseite der schüsselförmigen Drüse abgehoben wird (Fig. 117 *B*). Protoplasmareiche Haargebilde und Auswüchse reizbarer Staubgefäße, Blumenblätter, Blattgelenke, können auch, wie G. HABERLANDT([58b]) zeigte, in Gestalt von mannigfach gebauten Fühlpapillen, Fühlhaaren oder Fühlborsten als Reizempfänger fungieren. Unter Umständen sind sie selbst nicht empfindlich und dienen nur dazu, bei Berührung als Stimulatoren den Reiz auf ein sensibles Zellpolster zu übertragen.

Durch Verquellung der unter der Cuticula gelegenen Membranschicht wird der Schleim der sogen. Leimzotten oder Colleteren erzeugt. Diese Leimzotten sind verschiedenartig gestaltete Haargebilde, welche die jüngsten Anlagen in den Knospen häufig decken. Der von ihnen erzeugte Schleim schützt die jugendlichen Knospenteile vor dem Austrocknen. Der Schleim wird durch Sprengung der Cuticula frei. Eine neue Cuticula kann dann an der Colletere entstehen und die Verschleimung unter sich wiederholen. Wird in die verschleimten Membranschichten ein Sekret ausgesondert, so handelt es sich um Drüsenzotten. So sondern in den Winterknospen vieler unserer Bäume, z. B. der Roßkastanie (Aesculus Hippocastanum), die auf den Deckschuppen befindlichen Drüsenzotten ein Gemenge von Gummi und Harz aus, das sich zwischen die Deckschuppen ergießt und sie verklebt. So verhält sich auch die in Fig. 118 dargestellte Drüsenzotte des Stiefmütterchens. — Die als Digestionsdrüsen bezeichneten Auswüchse (Fig. 119) auf dem Blatte des Sonnentaupflänzchens (Drosera) sondern durch ihre poröse Cuticula eine schleimige Substanz an ihrem kolbenförmigen Ende aus, welche sich dort zu glänzenden Tropfen sammelt. An diesen schleimigen Tropfen bleiben kleine Tiere kleben, welche die Pflanze alsdann zu verdauen vermag. — Als Nektarien zusammengefaßte, verschiedenartig gestaltete Drüsen secernieren ein zuckerreiches Sekret, das in zahlreichen Blüten erzeugt wird und zur Anlockung der Insekten, welche die Bestäubung vermitteln, dient, aber auch außerhalb der Blüten auftritt und dort eine Lockspeise für Ameisen bildet, welche die Pflanze schützen. Durch chemische Umwandlung bestimmter Außenwände solcher Nektarien, oder durch Ausscheidung aus ihrem Innern, werden zunächst die osmotisch wirksamen Stoffe erzeugt, welche durch Saugung eine Wasserausscheidung veranlassen und so den Nektar liefern.

Verschiedene Piperaceen, Begoniaceen, Ficusarten bilden eine mehrschichtige Epidermis an ihren Blättern aus, doch ist ein solches Verhalten nicht häufig. Diese Epidermen entstehen, wenn die jungen Epidermiszellen nicht nur durch senkrecht zur Oberfläche gerichtete, sondern auch zu ihr parallele Wände sich teilen. So haben die Blätter von Ficus elastica (Fig. 75) eine dreischichtige Epidermis aufzuweisen, die einen entsprechend stark ausgebildeten Wasserbehälter darstellt. Die schon erwähnten Cystolithen (S. 59) liegen demgemäß bei Ficus elastica noch innerhalb der Epidermis in einzelnen stark angeschwollenen Epidermiszellen. Auch mehrschichtige Wurzelepidermen kommen vor, so bei Asparagus-, Crinum-, Lycoris-Arten ([59a]). Eine ganz eigenartige Ausbildung erfährt die mehrschichtige Epidermis an den Luftwurzeln vieler Orchideen und verschiedener Araceen. Sie stellt eine dicke, pergamentartige Hülle, das sogen. Velamen radicum (S. 40) dar, das in manchen Fällen eine nicht unbeträchtliche Dicke erreicht. Die Zellen dieser Hülle werden meist mit schrauben- oder netzförmigen Verdickungen versehen und büßen ihren lebendigen Inhalt ein. Sie erscheinen dann, je nach dem Feuchtigkeitsgrade der Umgebung, mit Luft oder mit Wasser gefüllt. Diese Wurzelhüllen saugen wie Fließpapier das Wasser auf. Sind die Zellen der Hülle mit Luft erfüllt, so erscheint diese Hülle weiß; führen sie Wasser, so schimmert das innere Gewebe mit grüner Farbe durch. — Eine besondere Mannigfaltigkeit in der Gestalt der Verdickung und dem Verhalten der Verdickungsschichten kommt den Epidermiszellen der Früchte und mehr noch der Samen zu. Es erklärt sich das daraus, daß diese Epidermen nicht allein für den Schutz und Abschluß der inneren Teile zu sorgen haben, sondern vielfach auch die Verbreitung und Befestigung jener Früchte und Samen fördern sollen.

Das Gefäßbündelsystem. Die primären Gefäßbündel durchziehen in Gestalt feiner Stränge den Körper der höher organisierten Gewächse. In den durchscheinenden Stengeln der als Unkraut verbreiteten Impatiens parviflora kann man die Gefäßbündel unmittelbar sehen, ihren Verlauf und ihre Verteilung feststellen. In den Blättern wird durch die Anordnung der Gefäßbündel die „Nervatur" bestimmt. Aus manchen parallelnervigen Blättern, so beim Wegerich (Plantago media), lassen sich die Gefäßbündel samt ihren Scheiden leicht befreien, wenn man die Teile eines umgebrochenen Blattes auseinander zieht.

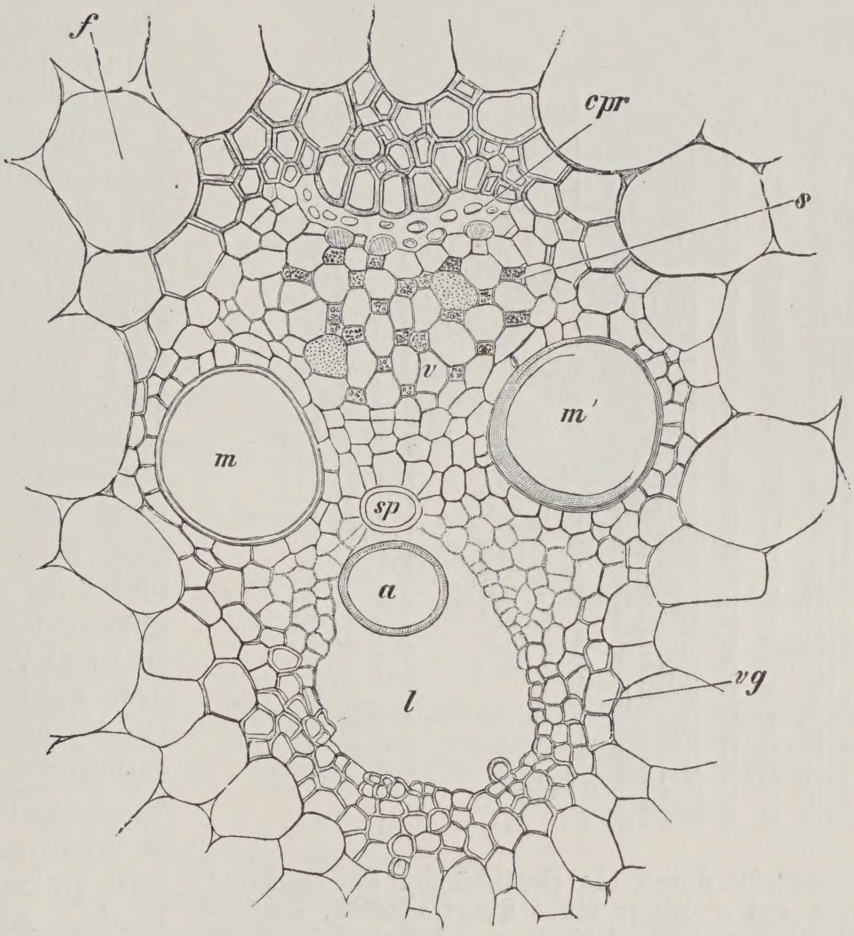


Fig. 120. Querschnitt durch ein Gefäßbündel aus dem Internodium des Stengels von Zea Mays. *a* Ring einer Ringtracheïde, *sp* Schraubentracheïde, *m* und *m'* behöft getüpfelte Gefäße, *v* Siebröhre, *s* Geleitzelle, *cpr* zerdrückte Cribralprimanen, *l* Intercellulargang, *vg* Scheide. Vergr. 180.

Bereits unter jenen Thallophyten, deren Körper eine fortgeschrittene Gliederung aufweist, so bei einer Anzahl roter und brauner Meeresalgen (Rhodophyceen und Phaeosporeen), werden besondere Zellenzüge für die Aufgaben der Stoffleitung ausgebildet. In den Laminariaceen sind sogar siebröhrenähnliche Gewebeelemente in den leitenden Bahnen aufgefunden worden (60). Manche thalloiden Lebermoose weisen auch schon besondere Zellenzüge auf, die wie Blattnerven ihren Körper durchziehen. Gegen die Umgebung deutlich abgegrenzt, treten uns aber erst die Leitbündel bei den Laubmoosen entgegen, häufig in den Blättern, seltener auch in den Stengeln. Den Querschnitt eines relativ einfach gebauten Leitbündels (*l*) dieser Art im Stämmchen von Mnium undulatum führt unsere Fig. 160 vor.

Ihre vollkommenste Ausbildung erlangten die Leitbündel der Laubmoose in den Stämmchen der Polytrichaceen. Sie stellen dort einen centralen Cylinder dar, in welchem langgezogene inhaltsleere, der Wasserleitung dienende Schläuche, siebröhrenähnliche Elemente welche Eiweiß, und gestreckte Zellen welche Kohlehydrate führen, nachzuweisen sind(61). Die Anordnung dieser Elemente in den Strängen erinnert nicht selten auffällig an jene in den Gefäßbündeln der höher organisierten Gewächse, eine Ähnlichkeit, die in das Gebiet der Analogien gehört, wie solche sich während der phylogenetischen Entwicklung des Pflanzenreichs so oft eingestellt haben.

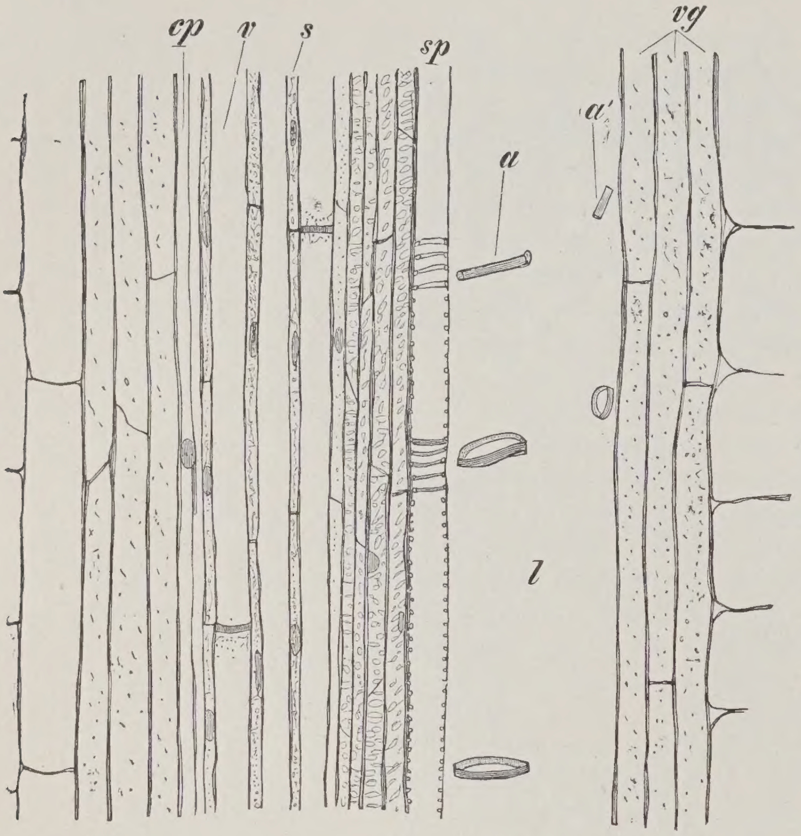


Fig. 121. Längsschnitt durch ein Gefäßbündel des Stengels von Zea Mays, *a* und *a'* Ringe einer Ringtracheïde, *v* Siebröhren, *s* Geleitzellen, *cp* Cribralprimanen, *l* Intercellulargang, *vg* Scheide. Vergr. 180.

Einen hohen Grad der Differenzierung erreichten erst die Gefäßbündel der mit Wurzeln ausgestatteten Kormophyten. Die Einschränkung der Wasseraufnahme auf die Wurzeln verlangt besonders vollkommen gebaute Leitungsbahnen. Zwei Bestandteile lassen sich in diesen Gefäßbündeln unterscheiden: der Gefäßteil oder Vasalteil und der Siebteil oder Cribralteil. Diese können getrennt voneinander verlaufende Stränge bilden; im allgemeinen sind sie aber mit einander im Gefäßbündel zum Cribrovasalbündel vereinigt. Andere gebräuchliche Bezeichnungen für Gefäßbündel sind: Fibrovasalbündel und Mestom, für Gefäßteil: primärer Holztheil, Xylem oder Hadrom, für Siebteil: primäres Phloëm oder Leptom(62). Der Unterschied im Bau der beiden Bestandteile des Gefäßbündels fällt am meisten an Querschnitten auf (Fig. 120, 122), mit welchen erst die Längsschnitte (wie Fig. 121) zu vergleichen sind. Der Vasalteil führt vor allem vasale, der Wasserleitung dienende Elemente, Tracheïden und Tracheen (*a*, *sp*, *m* Fig. 120, 121), oder Tracheïden allein, außerdem lebende Zellen, in Form von gestrecktem Parenchym, das als Vasalparenchym sich bezeichnen läßt. Im Cribralteil dürfen die der Eiweißleitung dienenden Siebröhren (*v*) nicht fehlen; sie sind stets von anderen lebenden Zellen begleitet, entweder nur von sogen. Geleitzellen (*s*), oder von diesen und von gestreckten Parenchymzellen, oder von letzteren allein. Geleitzellen kommen nur den Siebröhren der Angiospermen zu. Sie sind Schwesterzellen der Siebröhrenglieder, mit denen sie durch Längsteilung aus derselben Mutterzelle hervorgehen. Ihre Weite ist geringer als jene der Siebröhrenglieder; sie zeichnen sich von letzteren auch durch ihren reichlichen protoplasmatischen Inhalt aus, vor allem aber

dadurch, daß sie ihren Zellkern behalten, während dieser, wie schon erwähnt wurde (S. 77), im Siebröhrengliede alsbald schwindet. Bei den Monokotylen (Fig. 120 und 121) und bei den Ranunculaceen unter den Dikotylen (Fig. 122) sind Siebröhren nebst Geleitzellen die einzigen Elemente des Siebteils; bei den anderen Dikotylen ist außerdem noch gestrecktes Parenchym im Siebteil vertreten, das sich als Cribralparenchym bezeichnen läßt. Die Siebröhren der Gymnospermen und der Pteridophyten sind ohne Geleitzellen; der Siebteil führt außer Siebröhren nur Cribralparenchym.

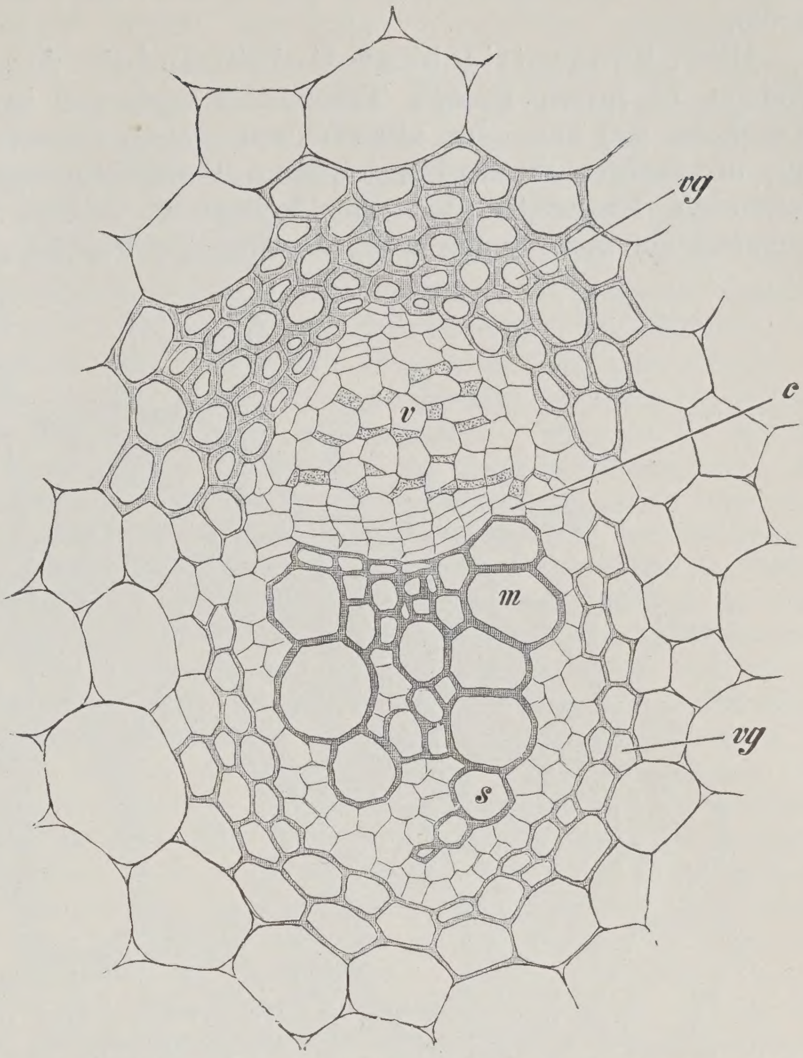


Fig. 122. Querschnitt durch das Gefäßbündel eines Ausläufers von Ranunculus repens, *s* Schraubentracheïden, *m* behöft getüpfelte Gefäße, *c* Cambium, *v* Siebröhren, *vg* Scheide. Vergr. 180.

Für gewöhnlich weisen die Phanerogamen (Gymnospermen und Angiospermen) kollateral gebaute Gefäßbündel auf, d. h. solche Gefäßbündel, bei welchen Gefäßteil und Siebteil sich einseitig berühren. Im allgemeinen kehrt in Stengelteilen das Gefäßbündel seinen Gefäßteil nach innen, seinen Siebteil nach außen, in Blättern seinen Gefäßteil nach oben, seinen Siebteil nach unten. — Außer den kollateralen kommen auch bikollaterale Gefäßbündel vor, welche nicht nur nach außen, sondern auch nach innen mit einem Siebteil versehen sind, so bei den kürbisartigen Gewächsen (Cucurbitaceen). — Den Wurzeln kommen ganz allgemein nur gesonderte Vasal- und Cribralstränge zu (Fig. 123 *s* u. *v*); zugleich sind die Vasalstränge umgekehrt als im Stengel orientiert; denn im Stengel kehren die Vasalteile ihre engsten Gefäße nach innen, die weitesten nach außen, in der Wurzel hin-

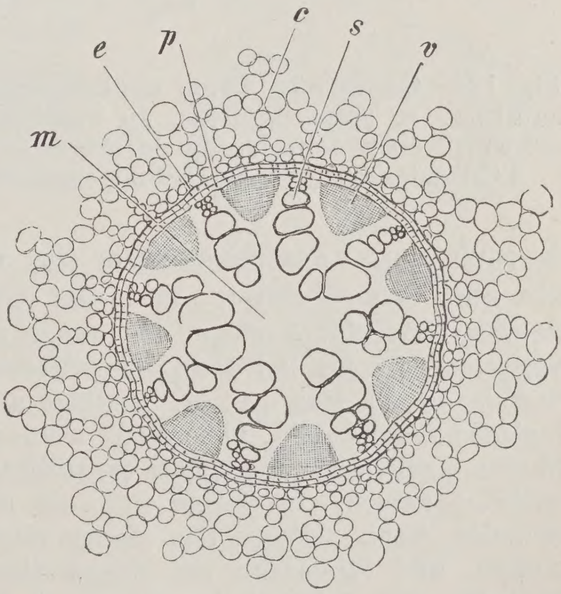


Fig. 123. Querschnitt durch die Wurzel von Acorus Calamus. *m* Mark, *s* Vasalteile, *v* Cribralteile, *p* Pericykel, *e* Endodermis, *c* Rinde. Vergr. 90.

gegen die weitesten Gefäße gegen die Mitte, die engsten gegen den Umkreis.

Die „koncentrischen“ Gefäßbündel der Pteridophyten (Fig. 124) weisen in ihrem Innern Tracheïden (*sp*), nur in vereinzelten Fällen auch Tracheen (*sc*) auf. Im allgemeinen gehen letztere noch den Pteridophyten ab, ungeachtet sie die Bezeichnung „Gefäßkryptogamen“ führen. Die wasserleitenden Elemente der Pteridophyten weisen treppenförmige, nur die engsten (*sp*) unter ihnen schraubenförmige Verdickungen auf. Diese Elemente

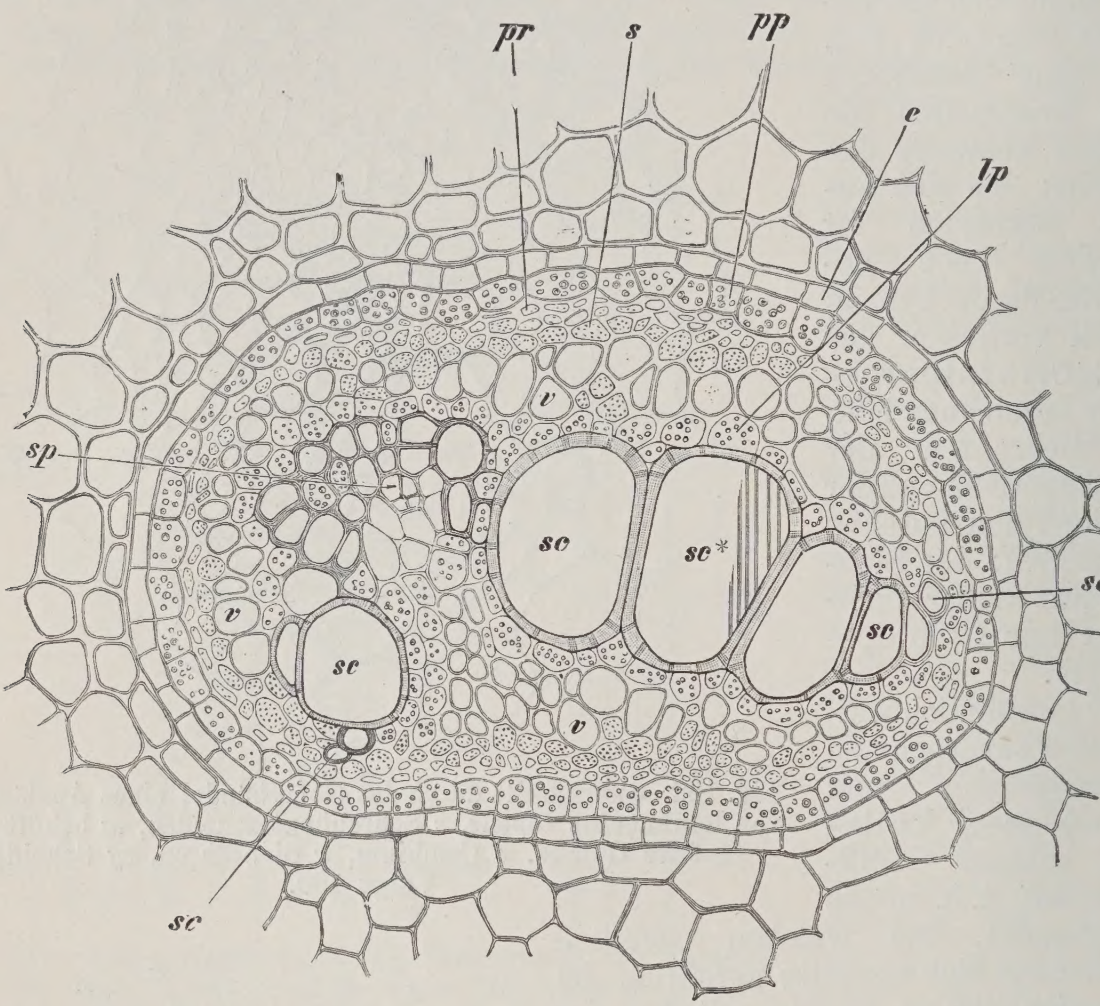


Fig. 124. Querschnitt durch ein koncentrisches Gefäßbündel aus dem Blattstiel von Pteris aquilina, *sc* Treppengefäße, *sp* Vasalprimanen (Schraubentracheïden), im Treppengefäß *sc** Stück einer leiterförmig durchbrochenen Querwand, *lp* Vasalparenchym, *v* Siebröhren, *s* Cribralparenchym, *pr* Cribralprimanen, *pp* Stärkeschicht, *e* Endodermis. Vergr. 240.

werden von Vasalparenchym (*lp*) umhüllt. Auf letztere folgt im Umkreis ein aus Siebröhren (*v*) und aus Cribralparenchym (*s*) bestehendes Gewebe. Solche Gefäßbündel pflegen im Stamm der meisten Farne, der Selaginellen, in Mehrzahl vertreten zu sein. Bei den Lycopodiaceen sind sie zu einem einzigen centralen Cylinder verschmolzen. Man hat es, gestützt auf vergleichende Untersuchungen und paläontologische Befunde ([62a]), neuerdings wahrscheinlich zu machen gesucht, daß den Pteridophyten, ähnlich wie den höchst organisierten Bryophyten, zunächst ein solider Leitbündelcylinder zukam. In diesem wäre ein centrales Mark aufgetreten. Der leitende Hohlcylinder habe alsdann aus einem ringförmigen Vasalteil bestanden, der auf seiner Außen- und Innenseite mit einem Siebteil bekleidet gewesen sei. Dann wäre eine Spaltung des Hohlcylinders in einzelne Abschnitte erfolgt, die sich auch seitlich mit dem Siebteil umhüllt hätten. Nach Schwund der Siebteile auf der Innenseite seien dann die kollateralen Gefäßbündel aus dem koncentrischen hervorgegangen. — Im Stengel der Equiseten treten uns die Gefäßbündel bereits mit kollateralem Bau entgegen.

Die Gefäßbündel werden als Stränge von meristematischem Gewebe, die man Procambiumstränge nennt, aus dem Urmeristem angelegt. In ihrem Innern tritt alsbald eine mittlere Gewebezone in tangentiale Teilungen ein und stellt ein primäres Meristem (S. 83) dar, das nach innen und außen neue Zellen in radialer Anordnung liefert. Wird während der Ausbildung des Gefäßbündels das gesamte Gewebe der Anlage verbraucht, so ist das Gefäßbündel ein geschlossenes; bleibt primäres Meristem (Fig. 122 *c*) zwischen dem Vasalteil und Cribralteil zurück, so ist das Gefäßbündel ein offenes. Die Pteridophyten besitzen fast ausnahmslos nur geschlossene Gefäßbündel; den Monokotylen kommen nur geschlossene Gefäßbündel zu (Fig. 120); den Gymnospermen und Dikotylen (Fig. 122) hingegen offene.

So lange ein Pflanzenteil noch in starkem Längenwachstum begriffen ist, bleiben seine Procambiumstränge, der Hauptmasse nach, undifferenziert. Denn nur an eng begrenzten Stellen treten in ihnen einzelne Zellenzüge aus dem meristematischen Zustande heraus. Es sind das Elemente, die auf Streckung eingerichtet sind: enge ring- und schraubenförmig verdickte Gefäßtracheïden einerseits, Siebröhren, beziehungsweise Siebröhren nebst Geleitzellen, andererseits. Die ersteren werden als Erstlinge des Gefäßteils, Vasalprimanen, oder auch Protoxylem, die letzteren als Erstlinge des Siebteils, Cribralprimanen, oder auch Protophloëm, bezeichnet. Die Vasalprimanen nehmen den Innenrand, die Cribralprimanen den Außenrand eines Procambiumstranges ein, aus dem ein kollaterales Gefäßbündel hervorgehen soll. Erst nach vollendetem Längenwachstum des Pflanzenteils werden die Gefäßbündel fertiggestellt, wobei in einem kollateralen Gefäßbündel, das wir als Beispiel wählten, die Differenzierung der meristematischen Gewebe von dem Innen- und Außenrand gegen die Mitte fortschreitet. Die Primanen des Vasal- und Cribralteils sind im fertigen Gefäßbündel außer Funktion gesetzt. Die Vasalprimanen zeigen sich dann vielfach zerdrückt, auch wohl durch Dehnungen zerrissen (*a* und *a'* Fig. 121), in manchen Fällen ist ein lysigener Intercellulargang an ihrer Stelle ausgebildet (Fig. 120 und 121); die Cribralprimanen (*cp*) sind verquollen, ihre Siebplatten durch Callusbelege verschlossen.

Entsprechend ihrer umgekehrten Orientierung innerhalb der Wurzeln weisen die Vasalteile dort nicht an ihrem Innenrande, vielmehr an ihrem Außenrande Vasalprimanen auf (Fig. 123).

Gefäßbündelendigungen. In den Blättern, besonders den Laubblättern der angiospermen Pflanzen, pflegen die Gefäßbündel sich stark zu verzweigen und schließlich in ganz feine Stränge aufzulösen. Bei den Gymnospermen hingegen unterbleibt meist diese Verzweigung, ein einziges Gefäßbündel durchläuft vielfach die ganze Blattspreite. Den höchsten Grad erreicht die Verzweigung in den netzartigen Blättern der Dikotylen.

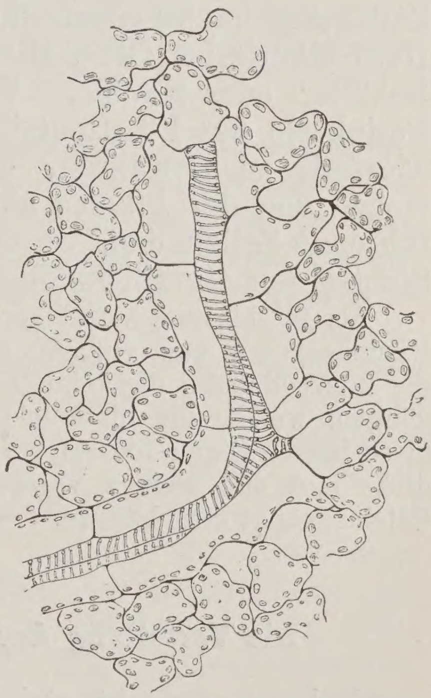


Fig. 125. Gefäßbündelendigung im Blatt von Impatiens parviflora. Vergr. 240.

Die feine Verteilung der Gefäßbündel in der Blattspreite erleichtert die Zufuhr von Wasser zu allen Teilen des Blattes, zugleich die gleichmäßige Entnahme der Assimilationsprodukte aus dem Blattgewebe. In dem Maße, als die Verzweigung der Gefäßbündel in der Blattspreite fortschreitet und sie schwächer werden, vereinfacht sich ihr Bau (Fig. 125). Zunächst schwinden aus den Gefäßbündeln die Gefäße, und nur netz- und schraubenförmig verdickte Tracheïden bleiben als wasserleitende Elemente im Va alteil zurück. Zugleich erfährt der Siebteil eine Reduktion. Bei den Angiospermen, deren Siebröhren von Geleitzellen begleitet werden, nehmen die Siebröhren an Weite ab, während die Geleitzellen ihren

früheren Durchmesser behalten. Schließlich unterbleibt in den Zellen, welche die Siebröhren fortsetzen, die Teilung in Siebröhrenglieder und Geleitzellen, es werden sogen. Übergangszellen(63) gebildet. Mit diesen hört der Siebteil auf, während der Vasalteil noch durch kurze Schraubentracheïden vertreten ist. Die letzten Auszweigungen der Gefäßbündel schließen entweder blind ab, oder setzen an andere Gefäßbündel an.

Das Grundgewebesystem. Das Grundgewebe, auch Füllgewebe genannt, bildet für gewöhnlich die Hauptmasse der primären Gewebe des Pflanzenkörpers. Das gesamte Gewebe der niederen Gewächse, denen noch eine innere Differenzierung fehlt, läßt sich in gewissem Sinne als Grundgewebe auffassen. Aus ihm sonderten sich allmählich, im Laufe der phylogenetischen Entwicklung, die anderen Gewebesysteme heraus. Bei den höheren Pflanzen wird das Grundgewebe von dem Hautgewebe umgeben und von dem Gefäßbündelsystem im Innern durchsetzt. Während dem Hautgewebe der Schutz der Pflanze nach außen, dem Gefäßbündelsystem vor allem das Geschäft der Leitung, auch der mechanischen Festigung zufällt, hat das Grundgewebe hauptsächlich für die Ernährung der Pflanze und Speicherung der Nahrungsstoffe zu sorgen. Demgemäß überwiegen im Grundgewebe, so tief als der Einfluß des Lichtes reicht, chlorophyllhaltige Parenchyme; tiefer folgen farblose Gewebe. Doch ist das Grundgewebe auch an den mechanischen Leistungen in der Pflanze beteiligt. Es besitzt in dem Kollenchym (Fig. 74 *c*) und dem Sklerenchym spezifisch mechanische Gewebe. Das Kollenchym ist unverholzt, leicht dehnbar und demgemäß auf Streckung eingerichtet; es stellt das mechanische Gewebe der noch in Längenwachstum begriffenen Pflanzenteile vor, in welchen es daher schon frühzeitig auftritt. Die meist auch nicht verholzenden, doch stark verdickten Sklerenchymfasern erlangen erst nach vollendetem Längenwachstum ihre volle Ausbildung. Später kommen oft noch Sklereïden (vgl. S. 63) als mechanische Elemente hinzu. Gestreckte Grundgewebezellen greifen auch in bestimmte Aufgaben der Leitung ein. Sie dienen im besonderen der Beförderung der Kohlehydrate. Auch werden Nebenprodukte des Stoffwechsels in besonderen Zellen oder Hohlräumen des Grundgewebes abgelagert. Daher im Grundgewebe kristallführende Idioblasten (vgl. S. 63) oder kristallführende Zellenzüge häufig anzutreffen sind, nicht minder auch mit Gerbstoffen, Gummi, Harz, ätherischen Ölen, Milchsaft oder Alkaloiden angefüllte Zellen, Schläuche, Behälter oder Kanäle. Vorwiegend werden solche Nebenprodukte in der Peripherie der Pflanzenteile untergebracht, um wirksame Schutzmittel gegen Tierfraß zu gewähren, um auch eventuell später mit peripherischen Geweben von der Pflanze abgeworfen zu werden; vielfach begleiten kristallführende Zellen und, wo vorhanden, auch Milchröhren und Milchgefäße, den Siebteil der Gefäßbündel.

Als Idioblasten auffälliger Art wären jene Zellen hervorzuheben, die bei Araceen, Nymphaeaceen und einigen anderen Pflanzenfamilien als sogen. innere Haare in die Intercellularen des Grundgewebes hineinragen. In den weiten intercellularen Luftgängen, welche die Blattstiele und Blütenstengel unserer Seerosen aufweisen, haben diese haarförmigen Idioblasten eine sternförmige Gestalt. Ihre Wände sind stark verdickt und mit kleinen vorspringenden Höckern versehen, die kleine Kristalle von Calciumoxalat einschließen.

Die Verteilung der primären Gewebe im Pflanzenkörper(64).

Frühzeitig macht sich in vielzelligen Pflanzenkörpern eine Sonderung derart geltend, daß die äußeren Gewebe kleinzelliger und fester, die inneren großzelliger und lockerer werden. Die äußeren Gewebe gewähren solcher-

maßen besseren Schutz, die inneren werden geeigneter für Leitungs- und Speicherungszwecke. Um der Leitung zu dienen, strecken sich letztere auch in die Länge. Hat der betreffende Pflanzenkörper selbständig für seine Ernährung zu sorgen, so sind die äußeren Gewebe, als die dem Licht zunächst ausgesetzten, mit assimilierenden Chromatophoren versehen und dem entsprechend gefärbt, während die inneren Gewebe farblos bleiben. Man pflegt dann solche äußeren Gewebe bereits als Rinde von den inneren, dem Mark zu unterscheiden. Erst bei einzelnen Moosen beginnt sich die Epidermis von der Rinde zu sondern. Zu einer scharfen Abgrenzung aller dieser Gewebe kommt es aber erst bei den höchst organisierten Pflanzen.

So tritt uns in dem **Stengel** einer phanerogamen Pflanze zu äußerst die Oberhaut oder Epidermis (*e* Fig. 128) entgegen; auf diese folgt ein als primäre Rinde zu unterscheidendes Gewebe (*pr* Fig. 126 und 127) und hierauf der sogen. Centralcylinder, für welchen VAN TIEGHEM die Be-

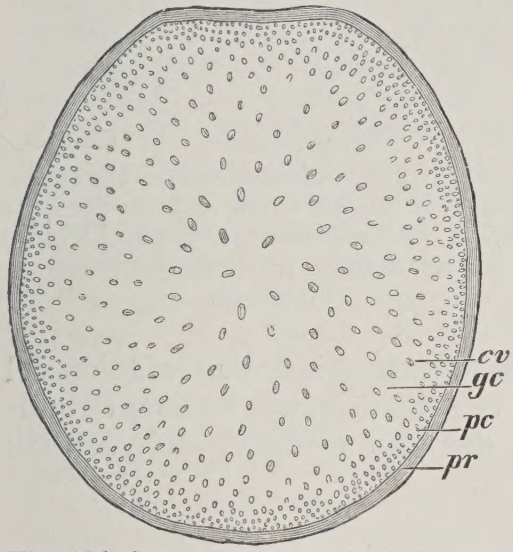


Fig. 126. Querschnitt durch ein Stengelglied von Zea Mays, *pr* primäre Rinde, *pc* Pericykel, *cv* Gefäßbündel, *gc* Grundgewebe des Centralcylinders. Vergr. 2.

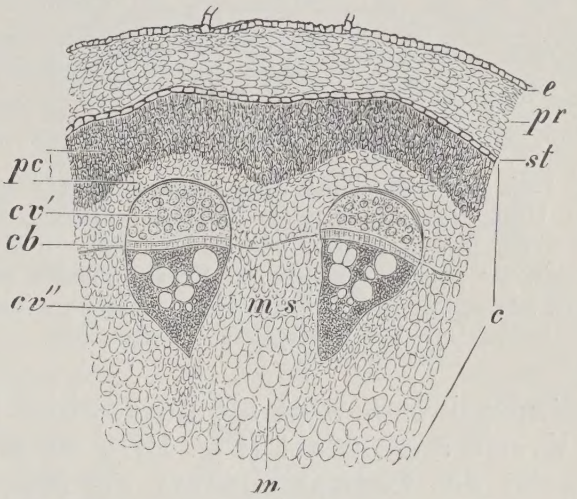


Fig. 127. Teil eines Querschnittes durch einen jungen Stamm von Aristolochia Sipho. *e* Epidermis, *pr* primäre Rinde, *st* Stärkescheide, *c* Centralcylinder, *pc* Pericykel, in diesem Falle mit einem Ring von Sklerenchymfasern, *cv* Gefäßbündel und zwar *cv″* Vasalteile, *cv′* Cribralteile, *cb* Cambiumring, *m* Mark, *ms* primäre Markstrahlen. Vergr. 48.

zeichnung Stele (Säule) vorgeschlagen hat([64a]). Die innerste Zellschicht der primären Rinde, die Rindengrenze (Phloeoterma), pflegt in oberirdischen Stengelteilen von Landpflanzen, namentlich wenn sie völlig ausgewachsen sind, öfters nicht auffällig zu sein, sie kann in ihnen aber auch als Stärkescheide, in den Rhizomen von Landpflanzen und in den Stengeln von Wasserpflanzen als Endodermis ausgestaltet sein. Tritt sie als Stärkescheide auf (*st* Fig. 127 und 128), so zeichnen sich ihre Zellen durch den Gehalt an leicht beweglichen Stärkekörnern aus. Vielfach ist eine Stärkescheide in jungen Pflanzentrieben vorhanden, schwindet aber in älteren oder bleibt([64b]) dort nur auf bestimmte Stellen beschränkt. Bildet die innere Rindenschicht eine Endodermis, so sind ihre Seitenwände an einer schmalen Stelle verholzt, oder doch so verändert, daß sie die gewohnten Holzstoffreaktionen geben([64a]). Der verholzte Streifen der Seitenwände der Endodermiszellen erscheint im Querschnitt als dunkler Punkt (vgl. Fig. 130), im tangentialen Längsschnitt als etwas welliges Band. Der Centralcylinder des Stengels enthält die Gefäßbündel (*cv*), die bei den Schachtelhalmen (Equiseten), den Gymnospermen und den Dikotylen (Fig. 127) in einem Kreise angeordnet, bei den Monokotylen (Fig. 126) ohne Ordnung zerstreut

sind. Die Gefäßbündel kehren in allen diesen Fällen ihren Vasalteil nach der Stengelmitte, ihren Cribralteil nach der Stengeloberfläche. Das außerhalb der Gefäßbündel gelegene, peripherische Grundgewebe des

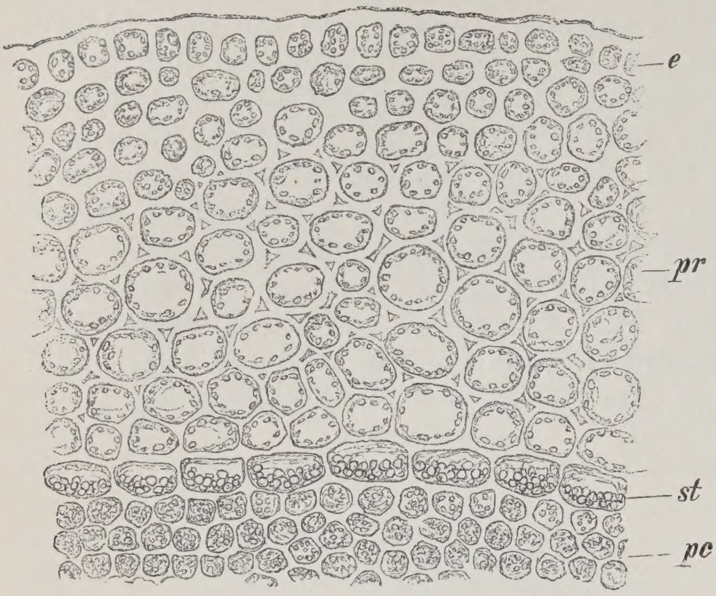


Fig. 128. Kleiner Teil eines Querschnitts aus dem Umkreise eines noch jüngeren Stammteils von Aristolochia Sipho, wie in Fig. 127. *e* Epidermis, *pr* primäre Rinde, *st* Stärkescheide mit leicht beweglichen Stärkekörnern, *pc* äußere Zellschichten des Pericykels. Vergr. 350.

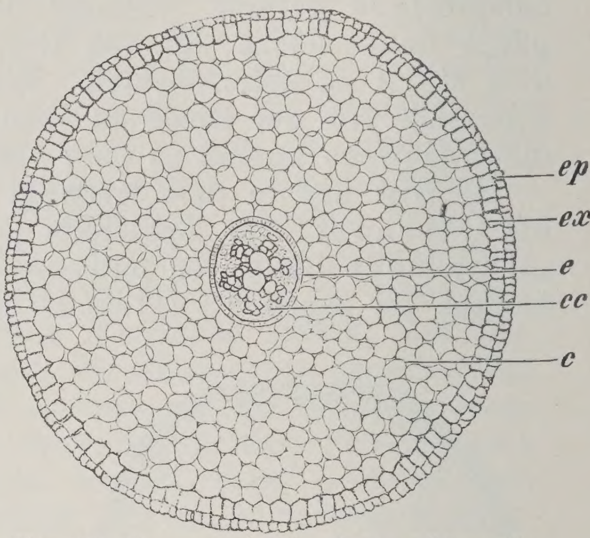


Fig. 129. Querschnitt durch eine Adventivwurzel von Allium Cepa. *ep* Reste der Epidermis, *ex* Exodermis, *c* primäre Rinde, *e* Endodermis, *cc* Centralcylinder. Vergr. 45.

Centralcylinders wird als Pericykel (*pc*) bezeichnet. Sind die Gefäßbündel im Kreise angeordnet (Fig. 127), so gilt das von ihnen umschlossene Grundgewebe des Centralcylinders als Mark (*m*), das die Gefäßbündel seitlich

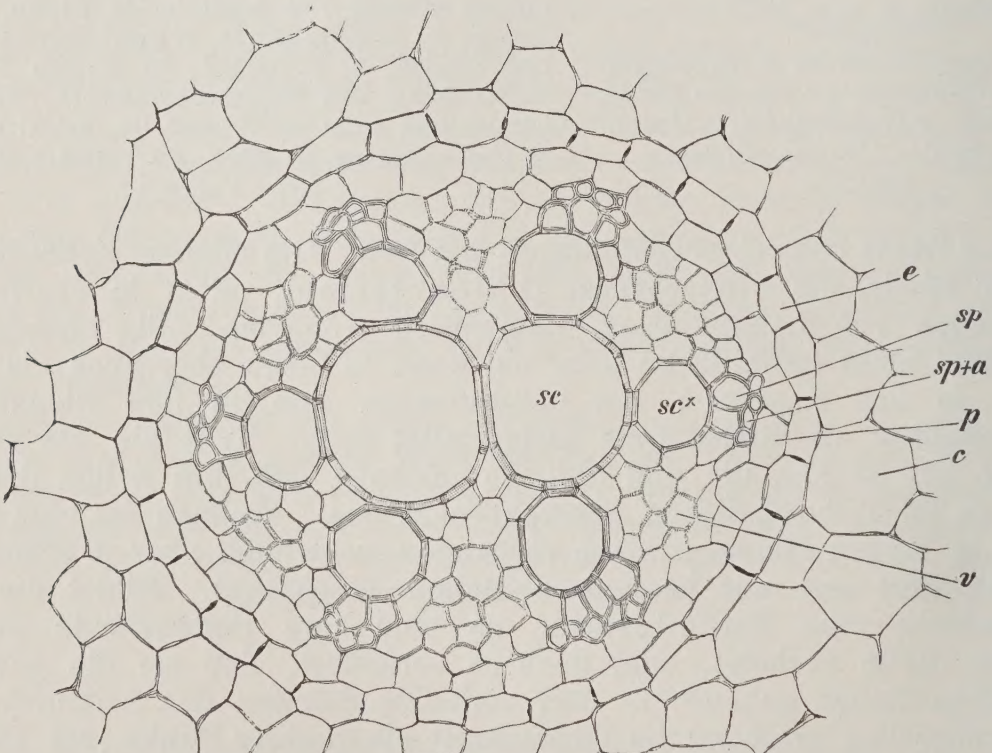


Fig. 130. Querschnitt durch eine Adventivwurzel von Allium Cepa. *c* primäre Rinde, *e* Endodermis, *p* Pericykel, *a* Ringtracheïden, *sp* Schraubentracheïden, *sc* und *sc** Treppengefäße, *v* Cribralteil. Vergr. 240.

trennende Grundgewebe als primäre Markstrahlen (*ms*). Bei zerstreuter Verteilung der Gefäßbündel (Fig. 126) fehlt diese Sonderung im Grundgewebe. Wo eine scharfe Grenze zwischen der primären Rinde und dem Centralcylinder auch auf jungen Entwicklungszuständen nicht ausgebildet ist, da läßt sich nur auf Grund vergleichender Untersuchungen darüber entscheiden, welche primären Grundgewebe des Stengels noch der primären Rinde und welche bereits dem Centralcylinder beizuzählen seien.

Das Grundgewebe der primären Rinde ist vorwiegend chlorophyllhaltiges Parenchym. Häufig ist ein Teil dieses Gewebes, im Anschluß an die Epidermis, zu Kollenchym- oder Sklerenchymsträngen ausgebildet. Solche die Epidermis mechanisch verstärkenden Gewebe hat man unter der Bezeichnung Hypoderma zusammengefaßt. Im Centralcylinder gehören Pericykel, primäre Markstrahlen und Mark, beziehungsweise das zwischen den Gefäßbündeln befindliche Gewebe, zum Grundgewebe. Vorwiegend besteht dieses Gewebe aus farblosen Parenchymen; im Pericykel sind sklerenchymatische Elemente oft vertreten (Fig. 127 *pc*); solche Elemente umgeben auch oft als Scheiden die einzelnen Gefäßbündel, oder begleiten sie als Stränge an der Cribralseite (Fig. 120, 122). Wo Scheiden aus sklerenchymatischen Elementen die einzelnen Gefäßbündel umgeben, zeigen sie sich zu jeder Seite des Gefäßbündels, an der Grenze von Gefäß- und Siebteil, durch parenchymatische, oder schwächer verdickte und schwächer verholzte Elemente unterbrochen. Diese Stellen erleichtern den Austausch von Wasser und Nahrungsstoffen zwischen dem Gefäßbündel und dem Grundgewebe und werden als Durchlaßstreifen bezeichnet. Wo eine gemeinsame Stärkescheide dem Stengel fehlt, da sind unter Umständen Stärkescheiden um die einzelnen Gefäßbündel vorhanden, oder bestimmt verteilte Zellreihen mit beweglichen Stärkekörnern ausgestattet (64a). — Der Centralcylinder der Phanerogamen ist mehr oder weniger central orientiert und einfach; doch kommen einzelne Fälle vor, in welchen er in mehrere Teilcylinder geteilt ist: so in den Stengeln der Aurikeln und der Gunnera.

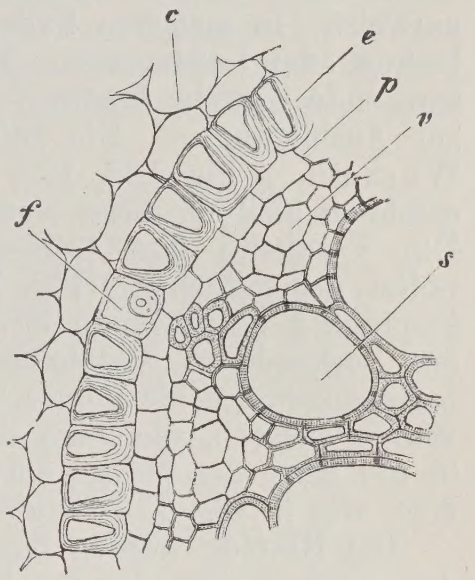


Fig. 131. Teil eines Querschnittes durch die Wurzel von Iris florentina. *c* primäre Rinde, *e* Endodermis mit einseitiger Verdickung der Zellen, *f* Durchlaßzelle, *p* Pericykel, *v* Cribralteil, *s* Gefäß im Vasalteil. Vergr. 240.

Innerhalb der **Wurzel** ist die Grenze zwischen primärer Rinde und Centralcylinder scharf gezogen. Die innerste Rindenschicht pflegt als Endodermis ausgebildet zu sein (Fig. 123, 129, 130 *e*). Die Verholzung des mittleren Membranstreifens in den Seitenwänden bedingt einen festen und lückenlosen Verband der Endodermiszellen und damit auch einen entsprechenden Abschluß des Centralcylinders gegen die lufthaltigen Intercellularen der primären Rinde, während durch die dünnen Innen- und Außenwände der Endodermiszellen der Wasseraustausch zwischen der primären Rinde und dem Centralcylinder ungehindert erfolgen und so dem letzteren das Wasser zugeführt werden kann, welches die Wurzelhaare, beziehungsweise die entsprechenden Stellen der Wurzeloberfläche, dem umgebenden Boden entziehen. In etwas älter gewordenen Wurzelteilen, welche der Wasseraufnahme aus dem Boden nicht mehr dienen, werden die Endodermiszellen vielfach und zwar meist einseitig verdickt, auch können sie cutinisieren. Treten solche Veränderungen frühzeitig auf, so bleiben bestimmte, vor den Vasalteilen gelegene Endodermiszellen von ihr ausgeschlossen und stellen dann die sogen. Durchlaßzellen vor (*f* Fig. 131).

In den meisten Fällen ist es die Epidermis der Wurzel, welche innerhalb einer bestimmten Region die Wurzelhaare trägt. Es kann aber auch die Epidermis frühzeitig abgestoßen werden und die äußerste Rindenschicht in ihre Funktion treten. Unter allen Umständen stirbt die Epidermis rasch ab und es nimmt dann die nächstfolgende Rindenschicht, deren Zellwände mehr oder weniger cutinisieren, als Exodermis (Fig. 129 *ex*) die Oberfläche ein. In einer solchen Exodermis werden oft nicht cutinisierende Zellen ausgespart, die als Durchlaßzellen gelten können. Sie zeichnen sich in bestimmten Fällen durch geringere Größe aus und können regelmäßig zwischen den cutinisierten Zellen verteilt sein. An Luftwurzeln bildet sich die Epidermis meist zu der uns schon bekannten mehrschichtigen Wurzelhülle (vgl. S. 90) aus, auf diese folgt eine Exodermis.

Die primäre Rinde der Wurzel wird von farblosem Gewebe gebildet, das fast immer parenchymatisch ist, und in den äußeren Teilen lückenlos verbundene, in den inneren Teilen durch Intercellularen getrennte Zellen aufweist. In manchen Fällen erweitern sich diese Intercellularen zu Luftlücken oder Luftkanälen. Mechanisch die Epidermis oder Exodermis verstärkende Gewebe kommen als Hypodermen auch in zahlreichen Wurzeln zur Ausbildung. — Die äußerste Zellschicht des Centralcylinders der Wurzeln (*p* Fig. 123, 129, 130, 131) bildet den Pericykel, der auch Pericambium hieß (66), meist einschichtig ist, in seltenen Fällen auch fehlen kann. Die Vasalteile und Cribralteile verlaufen als getrennte Stränge (S. 93) radial nebeneinander (Fig. 123, 130), und zwar kehren, wie uns schon bekannt, die Vasalstränge ihre engsten Elemente nach außen. Nach der Zahl der vorhandenen Vasalstränge wird die Wurzel als diarch, triarch usw. beziehungsweise als polyarch bezeichnet. So ist die in Fig. 123 dargestellte Wurzel octarch, diejenige der Fig. 130 hexarch. Die Vasalstränge stoßen in der Mitte der Wurzel entweder zusammen, wie in Fig. 130, oder sie lassen dort, wie in Fig. 123 zu sehen ist, ein centrales Mark frei.

Die **Blätter** werden ihrer Hauptmasse nach von Grundgewebe gebildet, das nach außen von der Epidermis umschlossen, im Innern von Gefäßbündeln durchzogen ist. Das Grundgewebe des Blattes heißt Mesophyll. Um die Gefäßbündel bildet es Scheiden, die selbst den feinsten Verzweigungen der Gefäßbündel folgen und sie umschließen. Die Zellen dieser Mesophyllscheiden sind meist gestreckt und stets lückenlos verbunden. Außer der Aufgabe, die Gefäßbündel von dem Gewebe des Mesophylls abzusondern, kommt ihnen noch die wichtige Funktion zu, gelöste Kohlehydrate aufzunehmen und aus dem Blatte in den Stengel zu leiten. Stärkere Gefäßbündel werden meist von Sklerenchymfasersträngen begleitet, welche an den feineren Auszweigungen weiterhin schwinden. Auch verlaufen oft freie Sklerenchymstränge im Mesophyll und tragen zur Festigung des Blattes bei.

Das Mesophyll des Blattes geht innerhalb des Stengels in die primäre Rinde über, die Gefäßbündel setzen sich in den Centralcylinder des Stengels fort. Die der primären Rinde und dem Centralcylinder des Stengels entsprechenden Gewebe bleiben auch im Blatte dauernd gesondert.

Das Mesophyll farbiger Blumenblätter der Angiospermen besteht meist aus einem ziemlich lockeren, von Intercellularen durchsetzten Gewebe, das sich ziemlich gleichartig zwischen der Epidermis der Ober- und der Unterseite ausbreitet und in welchem die Gefäßbündel verlaufen. Auch die Spreite mancher assimilierender Laubblätter, besonders von Schattenpflanzen, kann fast ebenso einfach gebaut sein, im allgemeinen ist das aber nicht der Fall und außerdem ein Unterschied im Bau der Ober- und der Unterseite vorhanden (Fig. 132). Dann verhält sich das Blatt an seinen beiden Seiten äußeren Einflüssen gegenüber verschieden. Bei solcher dorsiventraler Ausbildung pflegt auf die Epidermis der Oberseite (Fig. 132 *ep*) eine oder mehrere

senkrecht zur Oberfläche gestreckte Lagen cylindrischer Parenchymzellen, die als Palisadenzellen bezeichnet werden (*pl*), zu folgen. Diese Zellen sind besonders chlorophyllreich und meist seitlich voneinander getrennt, so daß die Stoffleitung auf die Richtung ihrer Längsachsen eingeschränkt bleibt. An dieses Palisadenparenchym schließt ein chlorophyllärmeres Parenchym aus vorwiegend unregelmäßig gestalteten Zellen mit weiten Intercellularen an, das als Schwammparenchym (*sp*) unterschieden wird. Es reicht bis an die Epidermis der Unterseite (*ep''*). Die Palisadenzellen sind in der Richtung gestreckt, in welcher die Lichtstrahlen die Blattspreite durchsetzen und so für die assimilatorische Tätigkeit besonders geeignet. Das Schwammparenchym ist vornehmlich ein Durchlüftungsgewebe, für den Gasaustausch eingerichtet, bildet demgemäß weite Intercellularen, die mit den Spaltöffnungen der unteren Epidermis in unmittelbarer Verbindung stehen. HABERLANDT(67) berechnet für einen Quadratmillimeter Blattfläche bei Ricinus communis durchschnittlich im Palisadenparenchym der Oberseite 403 200, im Schwammparenchym der Unterseite 92000 Chlorophyllkörner, somit

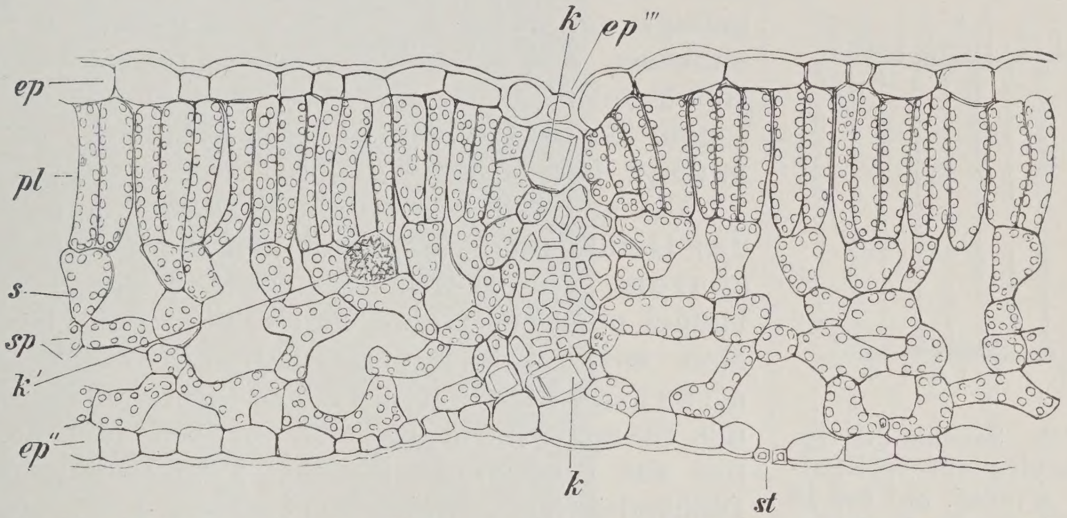


Fig. 132. Querschnitt durch das Blatt von Fagus silvatica. *ep* Epidermis der Oberseite, *ep''* Epidermis der Unterseite, *ep'''* gestreckte Epidermiszellen über einem Gefäßbündel, *pl* Palisadenparenchym, *s* Sammelzellen, *sp* Schwammparenchym, *k* kristallführende Idioblasten, in *k'* eine Kristalldruse, *st* Spaltöffnung. Vergr. 360.

würden in diesem Falle 82 % der Chlorophyllkörner der Blattoberseite, 18 % der Blattunterseite angehören. Oft neigen die Palisadenzellen mit ihren inneren Enden deutlich zu Büscheln zusammen (Fig. 132), um an sogenannte Sammelzellen (*s*) anzuschließen, die an ihren Ansatzstellen trichterförmig erweitert sind. Solche Sammelzellen geben dann die Assimilate weiter an das Schwammparenchym ab. Letzteres führt sie den die Gefäßbündel umgebenden Mesophyllscheiden zu, fungiert somit nicht nur als Durchlüftungs-, sondern auch als Zuleitungsgewebe. Die Mesophyllscheiden dienen als Ableitungsgewebe nach dem Stengel.

An der Basis der Spreite zieht sich das Gewebe zusammen und tritt, falls ein Blattstiel vorhanden ist, in diesen ein. In einem Blattstiel ist der dorsiventrale Bau meist weniger scharf als in der Spreite ausgeprägt. Die Zellen zeigen sich vornehmlich in der Längsrichtung gestreckt, was die Stoffleitung fördert. In ihrer Verdickung und Verteilung sind sie den veränderten Ansprüchen an die mechanische Festigkeit angepaßt. Aus dem Blattstiel treten die Gefäßbündel in den Stamm, um in seinem Centralcylinder mit anderen Gefäßbündeln gleich zu verschmelzen, oder sich zunächst zwischen sie einzureihen. Im Blattstiel der Angiospermen sind die Gefäßbündel meist zu

einem nach oben offenen Bogen angeordnet; sie können aber auch eine andere Figur bilden. — Die Gefäßbündel in den Blattstielen der Farne werden, wie im Stamme, von braunwandigen Sklerenchymsträngen oder Sklerenchymplatten begleitet. Solche Sklerenchymmassen sind es, welche dem Adlerfarn (Pteris aquilina) den Namen verschafften, weil sie auf Querschnitten durch den Blattstiel das Bild eines Doppeladlers abgeben.

Bei gewissen Familien der Dikotylen, vor allem bei den Crassulaceen, bildet das Mesophyll der Blattlamina zwischen besonders angeschwollenen Gefäßbündelendigungen und der Epidermis Gewebepfropfen aus, die von kleinen meist chlorophyllfreien, wasserreichen Zellen gebildet werden, welche nur sehr kleine, mit Wasser erfüllte Intercellularen zwischen sich lassen. Diese Gewebepfropfen nennt man Epitheme. Sie dienen aktiver Wasserausscheidung, sind demgemäß innere Hydathoden (vgl. S. 89). Vielfach sind über solchen Epithemen Wasserspalten (vgl. S. 87) angebracht.

Gefäßbündelverlauf (68). Die Gefäßbündel zeigen innerhalb des Pflanzenkörpers einen ganz bestimmten Verlauf. Ein anschauliches Bild dieses Verlaufs ist unter Umständen aus Macerationspräparaten zu gewinnen. Läßt man krautartige Pflanzenteile in Wasser faulen, so gelingt es, aus ihnen fast alles Grundgewebe zu entfernen und schließlich nur die resistenteren Gefäßbündel zu behalten. Man stellt in solcher Weise sogen. Skelette von Stengeln, Blättern, Früchten u. dergl. her.

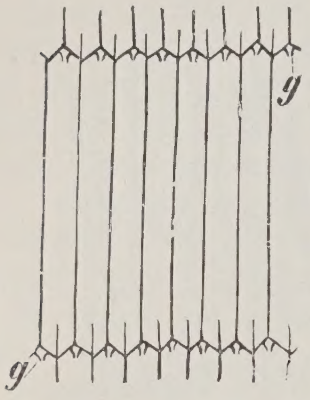


Fig. 133. Schema des Gefäßbündelverlaufs bei Equisetum arvense, auf der in einer Ebene ausgebreiteten Cylinderfläche entworfen. *g* Anschluß der Gefäßbündel der Seitensprosse.

Die aus den Blättern in den Stengel eintretenden Gefäßbündel bilden in ihm die sogen. Blattspuren. Die Blattspur kann aus einem Gefäßbündel oder aus mehreren Gefäßbündeln bestehen. Man unterscheidet demgemäß ein- und mehrsträngige Blattspuren. Wo das Gefäßbündelsystem des Stammes, wie das fast allgemein der Fall ist, nur aus Blattspuren besteht, sieht man jedes Gefäßbündel einer Blattspur in seinem Abwärtsverlauf schließlich mit einem andern, das einem tiefer inserierten Blatte entstammt, sich vereinigen. Je nach der Länge des Weges, den die einzelnen Gefäßbündel frei im Stengel zurücklegen, und der Richtung, die sie befolgen, ist das Bild des Gefäßbündelverlaufes ein anderes. Einen relativ einfachen Fall bieten uns die Schachtelhalme (Equiseten). Ihre Blätter stehen in alternierenden Quirlen. Aus jedem Blatt tritt eine einsträngige Blattspur, somit ein einziges Gefäßbündel in den Stengel ein; in dem nächst tieferen Knoten gabelt sich dieses Gefäßbündel, und seine Gabeläste verschmelzen mit den dort aus den Blättern eintretenden Gefäßbündeln. Das Bild dieses Verlaufs läßt sich am besten auf einer eben gelegten Cylinderfläche zur Darstellung bringen, wobei man sich den Stengel an der einen Seite der Länge nach aufgeschlitzt und dann flach ausgebreitet zu denken hat. So ist die Figur 133 ausgeführt. In dieser Figur wurde auch der Anschluß der Gefäßbündel der Seitensprosse an die Gefäßbündel des Muttersprosses (bei *g*) eingetragen. Die Seitensprosse alternieren bei den Equiseten mit den Blättern des Blattquirles, der sie deckt, und treten ihre Gefäßbündel daher zwischen zwei benachbarten Blattspuren in die Mutterachse ein. Zu je zwei Strängen verschmolzen, schließen sie dort an die beiden Gabeläste einer nächst höheren Blattspur an. — Wesentlich komplizierter ist der in Figur 134 dargestellte Gefäßbündelverlauf in einem Sprosse der Eibe (Taxus baccata), ungeachtet auch dessen Blattspuren einsträngig sind;

denn jedes Gefäßbündel bleibt dort frei durch zwölf Stengelglieder, bevor es mit einem andern verschmilzt. Zunächst läuft es gerade abwärts durch vier Indernodien, dann biegt es seitlich aus, um einer eintretenden Blattspur Platz zu machen und sich hierauf mit ihr zu vereinigen. Die Stellung der Blätter am Sproß bestimmt naturgemäß den Eintrittsort ihrer Blattspur, demgemäß weist die Figur 134 in Übereinstimmung mit der Blattstellung der Taxus-Sprosse $^5/_{13}$ Divergenz für die eintretenden Blattspuren auf. Der weitere Verlauf der Blattspuren im Stengel ist von der Blattstellung hingegen unabhängig, und kann bei der nämlichen Blattstellung sehr verschieden sein.

Die Blattspuren der Achselsprosse pflegen bei den meisten Gymnospermen und Dikotyledonen zu zwei Strängen vereint in den Muttersproß einzutreten und an seine Blattspuren anzusetzen.

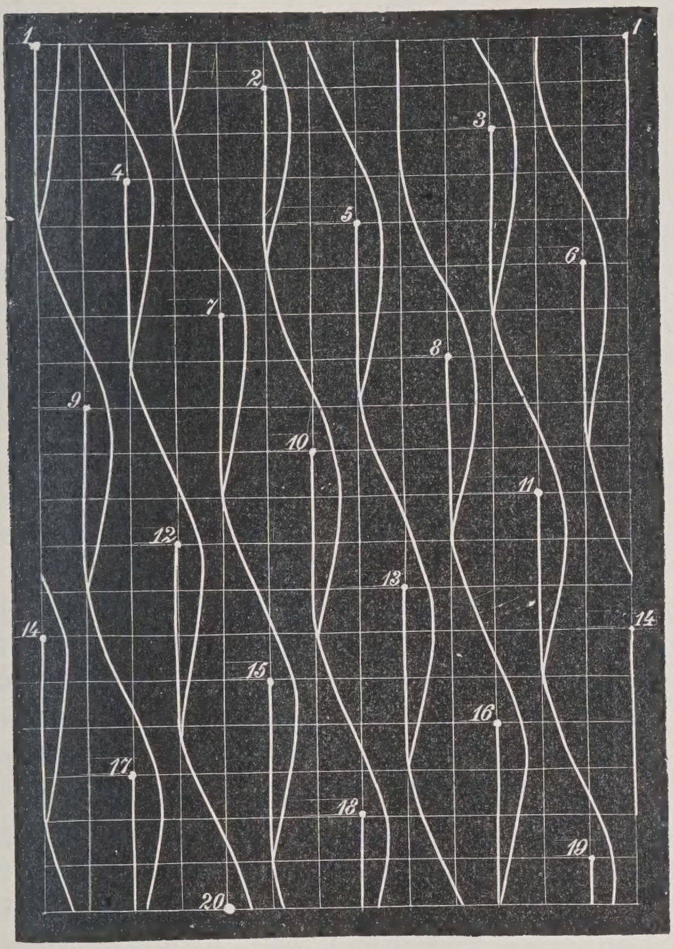


Fig. 134. Schema des Gefäßbündelverlaufs in dem Sproß von Taxus baccata.

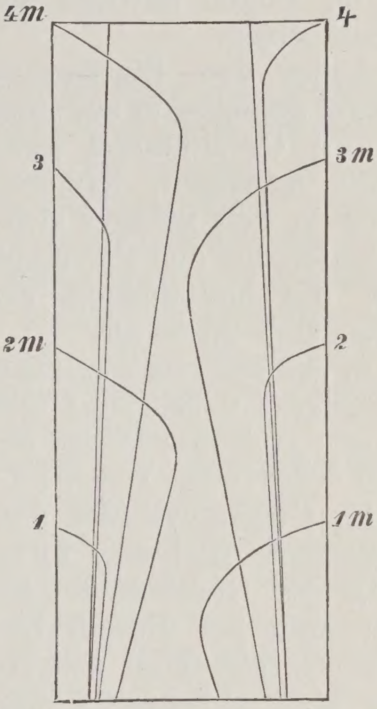


Fig. 135. Schema des Gefäßbündelverlaufs beim Palmentypus, zweiseitig alternierende, stengelumfassende Blätter sind vorausgesetzt. Die Zahlen geben die Aufeinanderfolge der Blätter an, *m* mediane Gefäßbündel. (Nach DE BARY.)

Im allgemeinen ordnen sich bei den Gymnospermen und Dikotylen, wie uns bereits bekannt, die Blattspurstränge im Stengel zu einem Kreise an. Doch gibt es auch Dikotylen, bei denen die Gefäßbündel zwei (Cucurbita, Phytolacca, Piper) oder mehr (Amarantus, Papaver, Thalictrum) Kreise bilden. Der innere Kreis pflegt dann wenig regelmäßig zu sein.

Zerstreut über den ganzen Querschnitt fanden wir die Gefäßbündel bei den Monokotylen (Fig. 126). Diese zerstreute Anordnung beruht darauf, daß die einzelnen Blattspurstränge ungleich weit von der Oberfläche im Centralcylinder des Stengels sich befinden. Veranlaßt wird dieses Verhalten durch das nach Anlage der einzelnen Procambiumstränge noch längere Zeit anhaltende Dickenwachstum des Vegetationskegels, wodurch die zu-

nächst peripherischen Procambiumstränge verschieden tief nach innen gelangen([68a]). Besonders ausgeprägt ist dieses Verhalten bei den Palmen, daher man den dadurch bedingten Gefäßbündelverlauf, als nach dem Palmentypus erfolgend, bezeichnet. Jede Blattspur wird in solchem Falle von zahlreichen Strängen gebildet, die aus einem stengelumfassenden Blattgrunde im ganzen Umkreise in den Stengel eintreten. Das mediane Gefäßbündel dringt fast bis zur Mitte, die seitlich angrenzenden immer weniger tief in den Centralcylinder ein. In ihrem Abwärtsverlauf nähern sich die Gefäßbündel langsam der Peripherie des Centralcylinders, um dort mit anderen Gefäßbündeln zu verschmelzen. Die Zahl der Internodien, welche ein Gefäßbündel dabei durchläuft, ist verschieden; für die medianen Gefäßbündel besonders groß. Das Bild dieses Verlaufs soll uns der mediane Längsschnitt (Fig. 135) vorführen; das mediane Gefäßbündel jeder Blattspur der zweizeilig alternierenden Blätter ist besonders hervorgehoben. — Auch die Blattspuren der Achselsprosse treten hier in zahlreichen Strängen in den Muttersproß ein, um im Bogen abwärts zu verlaufen und mit peripherischen Bündeln zu verschmelzen.

Außer den Blattspuren, deren Gefäßbündel den Blättern und dem Stengel gemeinsam zukommen, kann es aber auch stammeigene und blatteigene Gefäßbündel geben. Die ersteren sind solche, die nicht in die Blätter austreten, letztere solche, die gleich nach ihrem Eintritt aus dem Blatte in den Stengel sich dort mit stammeigenen Gefäßbündeln vereinigen. So laufen bei den Pteridophyten stammeigene Gefäßbündelstränge im Stengel fort, die blatteigenen aus den Blättern kommenden Gefäßbündelstränge setzen sich ihnen an.

In den Stengeln mancher Dikotylen (Begonien, Aralien) sind außer Blattspursträngen stammeigene Gefäßbündel vorhanden. Sie verlaufen innerhalb des von den Blattspursträngen gebildeten Ringes im Mark; in den Knoten sind sie mit den Blattspursträngen durch Seitenzweige verbunden.

Im Centralcylinder der Wurzeln laufen die Vasal- und Cribralstränge in gerader Richtung fort. Verfolgt man in einer Keimpflanze den Übergang der Gefäßbündel aus dem Hypokotyl (S. 43) in die Hauptwurzel, so sieht man bei diesem Übergang die Vasal- und Cribralteile der kollateralen Gefäßbündel des Hypokotyls sich voneinander trennen, die Vasalteile sich gleichzeitig um 180° drehen, so daß ihr innerer Rand nach außen gekehrt wird. Die Trennung der Cribralteile von den Vasalteilen kann sich ohne anderweitige Spaltungen vollziehen, und die getrennten Teile sich einfach nebeneinander anordnen, oder sie kann mit einer Spaltung der Cribralteile und einer bestimmten Verschmelzung ihrer Teilhälften verbunden sein.

Dickenzunahme durch die eine Zeitlang andauernde Vermehrung des Urmeristems. Dieses Verhalten zeigen die Vegetationspunkte der stammbildenden Monokotylen (Palmen, Pandaneen, bestimmter Liliifloren). Dadurch erhalten diese Vegetationspunkte eine beträchtliche Dicke, und durch dieselbe Ursache wird bedingt, daß der junge Sproß, aus dem der Stamm hervorgehen soll, gleich mit bedeutendem Umfang in Erscheinung tritt. Die Zellvermehrung dauert in einem Kegelmantel an, der in der Peripherie des Vegetationskegels liegt([68a]).

Dickenzunahme durch andauernde Vergrößerung vorhandener Grundgewebezellen. Ein solcher Zuwachs kommt bei den Palmen vor und führt bei manchen zur Bildung bis zu 0,75 m dicker Stämme, die sich nach oben zu verjüngen. Dieses Dickenwachstum beruht, wie EICHLER([69]) zeigte, auf einem fortgesetzten Weiterwerden der Grundgewebszellen des Central-

cylinders, wobei auch die Sklerenchymfaserstränge, welche die Gefäßbündel an der Cribralseite begleiten, an Zellweite und Wandverdickung und daher auch an Mächtigkeit gewinnen. Neue Elemente werden dabei nicht gebildet.

Massenzunahme durch andauernde Vermehrung des vorhandenen Grundgewebes. Einen solchen Vorgang, bei welchem ohne Bildung neuer Meristeme eine bedeutende Volumenzunahme sich vollziehen kann, bieten uns vor allem die Früchte vieler Angiospermen. Durch fortgesetzte Zweiteilung werden die Zellen des Haut- und Grundgewebes vermehrt, um dünnwandig zu bleiben oder eine bestimmte Verdickung und Ausgestaltung weiter zu erfahren, wobei aus Anlagen von geringem Durchmesser schließlich Früchte von einer solchen Größe hervorgehen können, wie sie uns etwa in einem Kürbis entgegentreten.

B. Sekundäre Gewebe([70]).

Wir wenden uns nunmehr zu den sekundären Geweben der Pflanzen. Sie werden nach beendigtem Längenwachstum durch Tätigkeit sowohl der primären Meristeme, wie der Folgemeristeme (vgl. S. 83), zu den primären Geweben der Pflanze hinzugefügt, beziehungsweise ersetzen diese. Sekundäre Gewebebildung trat in der phylogenetischen Entwicklung zuerst bei gewissen, jetzt nur aus fossilen Überresten bekannten Pteridophyten (Calamarien, Sigillarien, Lepidodendren) auf, bei den Phanerogamen aber erst gelangte sie zur allgemeinen Verbreitung. Sie blieb auch bei diesen im wesentlichen auf die Stämme und Wurzeln eingeschränkt; nur in sehr geringem Maße stellte sie sich auch in den Blattgebilden ein.

Cambium ([70a]). Die beim sekundären Zuwachs tätigen primären Meristeme und Folgemeristeme werden als Cambien zusammengefaßt. Ihre gemeinsamen Eigenschaften beruhen darauf, daß sie im meristematischen Zustande verharren, sich durch übereinstimmend gerichtete Scheidewände fortgesetzt teilen, und so Tochterzellen bilden, die in geraden Reihen angeordnet sind. In entsprechender Weise teilt sich bereits das primäre Meristem in den Procambiumsträngen der kollateralen Gefäßbündel (S. 95), welches demgemäß sich auch schon als Cambium bezeichnen ließe. Doch empfiehlt es sich, diese Benennung auf die den sekundären Zuwachs bewirkenden Meristeme einzuschränken. Letztere bilden neue Gewebeelemente entweder nach zwei Seiten hin, oder nur einseitig. Man könnte sie hiernach als diplеurische und monopleurische unterscheiden. Den dipleurischen Cambien kommt für gewöhnlich eine dauernde Initialschicht zu, das heißt eine mittlere Zelllage, welche den beiderseits angrenzenden Zellenzügen den Ursprung gibt. Auch die monopleurischen Cambien können eine fortbestehende Initialschicht besitzen, die sie an einer Seite begrenzt und an welche alle erzeugten Gewebezellen sich anschließen lassen. An vielen dieser einseitigen Cambien werden aber die ursprünglichen Initialzellen in der Gewebebildung mit aufgebraucht und neue Initialzellen aus dem angrenzenden Grundgewebe dem Cambium hinzugefügt. Das aus letzterem erzeugte Gewebe besteht infolgedessen nicht aus unterbrochenen Zellreihen, sondern nur aus kürzeren Zellenzügen, die einander nicht entsprechen. Die mit einer einzigen Initialschicht versehenen Cambien bezeichnet J. C. Schoute als Initialencambien, die aus hinzutretenden Zellschichten sich ergänzenden, als Etagencambien.

Dickenwachstum der gymnospermen und dikotylen Stämme. In den offenen Gefäßbündeln der Gymnospermen und der in die Dicke wachsenden Dikotylen schließt die sekundäre Gewebebildung fast unmittelbar an die Fertigstellung der primären Gewebe an. Das zwischen dem Vasalteil und Cribralteil der Gefäßbündel verbliebene primäre Meristem setzt seine Tätigkeit als dipleurisches, also zweiseitiges, mit einer Initialenschicht versehenes Cambium fort. Es zeichnet sich durch den Plasmareichtum seiner Zellen aus. Die Teilungen erfolgen durch tangential gerichtete Scheidewände; von Zeit zu Zeit werden auch einzelne Initialzellen durch eine radiale Wand verdoppelt. Meist pflegen die von der Initialenschicht nach innen und nach außen abgegebenen Zellen noch eine Teilung oder einige Teilungen zu erfahren, bevor sie zu Gewebeelementen der Gefäßteile oder der Siebteile werden.

Die Gefäßbündel der zum Dickenwachstum befähigten Gymnospermen und Dikotylen sind meist im Kreise angeordnet. Nachdem die Cambiumtätigkeit innerhalb der Gefäßbündel begonnen hat, stellt sie sich auch in den sie trennenden primären Markstrahlen ein. Eine Zone von Grundgewebszellen, welche an das Cambium der Gefäßbündel anschließt, beginnt sich tangential zu teilen. Das so erzeugte interfasciculare Cambium, welches somit ein Folgemeristem (S. 83) darstellt, ergänzt die innerhalb der Gefäßbündel gelegenen fascicularen Cambien, die primäre Meristeme (S. 95) sind, zu einem vollen Ringe. Die Figuren 136 und 137 stellen diesen Vorgang für Aristolochia Sipho, wo er sich in möglichst einfacher und übersichtlicher Weise vollzieht, dar. Die Fig. 137 gibt bei stärkerer Vergrößerung ein einziges Gefäßbündel aus der Fig. 136, nebst dem angrenzenden Interfascicularcambium, wieder. In diesem Gefäßbündel (Fig. 137) ist die Cambiumtätigkeit bereits in vollem Gange. Im besonderen fallen die in Ausbildung begriffenen Gefäße (*m''*) im Vasalteile auf. Innerhalb der primären Markstrahlen sind die Grundgewebszellen, die dem Interfascicularcambium den Ursprung gaben, noch deutlich zu erkennen. — Alles durch die Cambiumtätigkeit nach innen erzeugte Gewebe wird als sekundäres Holz oder als Holzkörper, alles nach außen erzeugte Gewebe als sekundärer Bast oder als Bastzone bezeichnet. Das sekundäre Holz stellt mit dem primären Gefäß- oder Holzteil zusammen das Holz, der sekundäre Bast mit dem primären Sieb- oder Bastteil den Bast dar. Im Gegensatz zu der primären Rinde (S. 97) lassen sich alle durch die Tätigkeit des Cambiums nach außen erzeugten Gewebe als sekundäre Rinde zusammenfassen. Die Vasalteile innerhalb des Holzkörpers bilden die Holzstränge, die Siebteile innerhalb der Bastzone die Baststränge. — Durch die Tätigkeit des Interfascicularcambiums werden die primären Markstrahlen dauernd auf der Holz- und Bastseite verlängert. Bei zunehmender Breite der Holz- und Baststränge beginnen auch einzelne Streifen des Fascicularcambiums Mark-

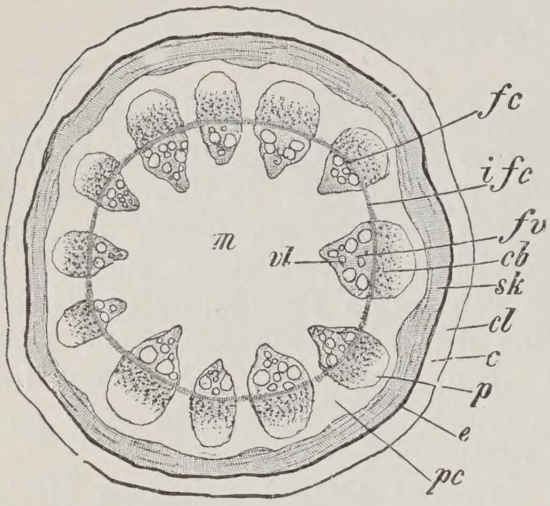


Fig. 136. Querschnitt durch einen 5 mm dicken Zweig von Aristolochia Sipho. *m* Mark, *fv* Gefäßbündel und zwar *vl* Gefäßteil, *cb* Siebteil, *fc* Fascicularcambium, *ifc* Interfascicularcambium, *p* Cribralparenchym an der Außenseite des Siebteils, *pc* Pericykel, *sk* Sklerenchymring, *e* Stärkescheide, *c* primäre Rinde, in dieser *cl* Kollenchym. Vergr. 9.

strahlgewebe zu erzeugen. So werden die sekundären Markstrahlen gebildet, die blind in den Holz- und Baststrängen endigen und um so weniger tief in sie reichen, je später ihre Anlage erfolgte. Die primären Markstrahlen werden auch vielfach als große, die sekundären als kleine unterschieden, statt Markstrahlen wird auch die Bezeichnung Querparenchym gebraucht. Das Gewebe aller dieser Markstrahlen ist in der Tat fast durchweg parenchymatisch. Die von der Initialschicht des Cambiums abgegebenen Zellen, die einen Markstrahl verlängern, erfahren vornehmlich nur quere Teilungen, um die Markstrahlzellen zu erzeugen.

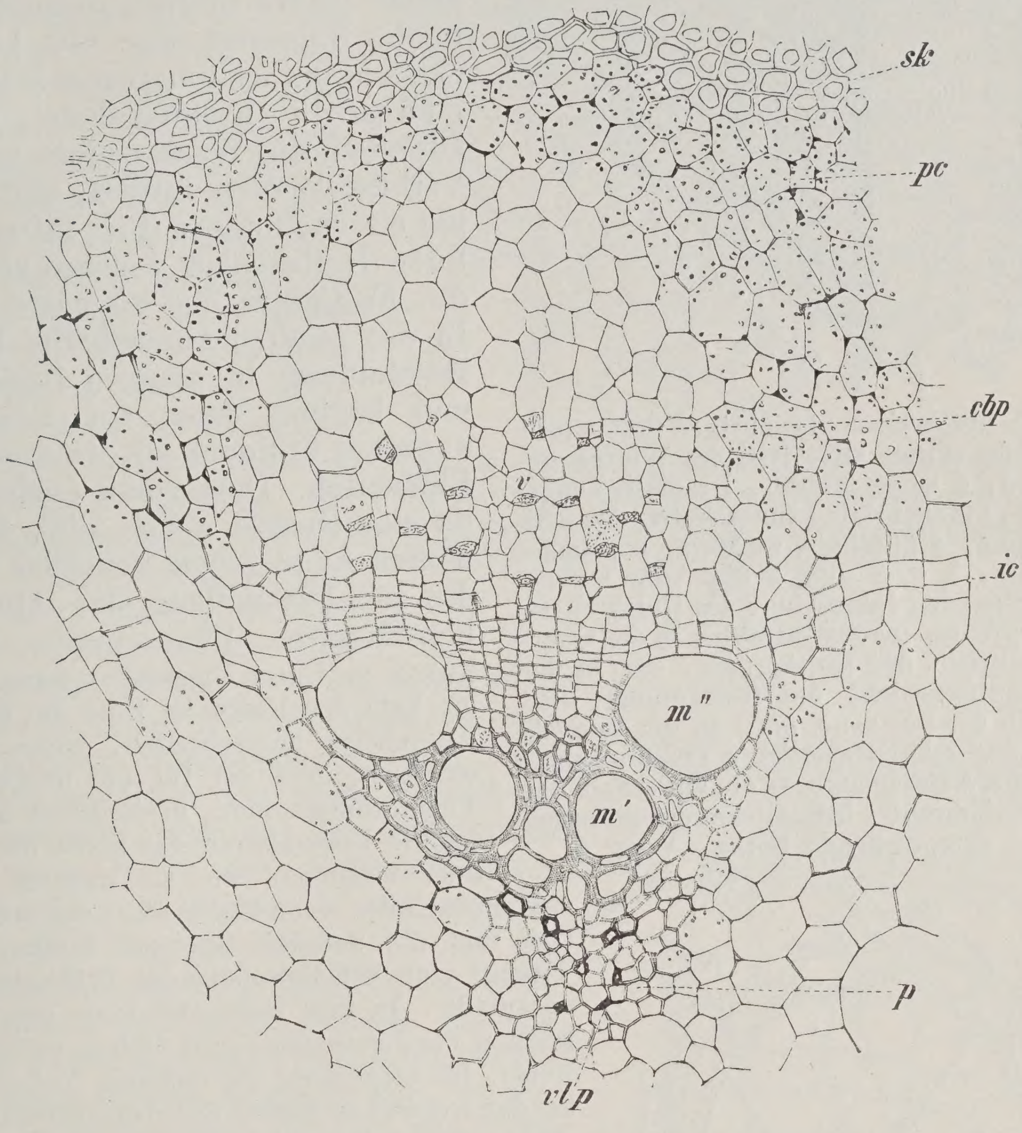


Fig. 137. Querschnitt durch einen Zweig von Aristolochia Sipho, im ersten Jahre seiner Entwicklung, ein Gefäßbündel nach begonnener Cambiumtätigkeit zeigend. *p* Vasalparenchym; an dem Innenrande des Vasalteils *vlp* Vasalprimanen, *m'* und *m''* behöft getüpfelte Gefäße, *ic* Interfascicularcambium, sich in das Fascicularcambium fortsetzend, *v* Siebröhren, *cbp* Cribralprimanen, *pc* Gewebe des Pericykels, *sk* innerer Teil des Ringes aus Sklerenchymfasern. Vergr. 130.

Die Cambiumzellen pflegen die Gestalt rechteckiger Prismen, deren radialer Querdurchmesser kleiner als der tangentiale ist, aufzuweisen. Die Enden dieser Prismen sind meist einseitig, abwechselnd nach rechts und links zugeschärft. Die Länge der Cambiumzellen ist je nach der Pflanzenart verschieden. Diejenigen Cambiumzellen, welche Markstrahlzellen bilden, stehen den anderen entsprechend an Länge nach. — Die primären in das Mark hineinragenden Vasalteile der Holzkörper werden als Markkrone bezeichnet.

In der cambialen Tätigkeit unserer Holzgewächse macht sich eine

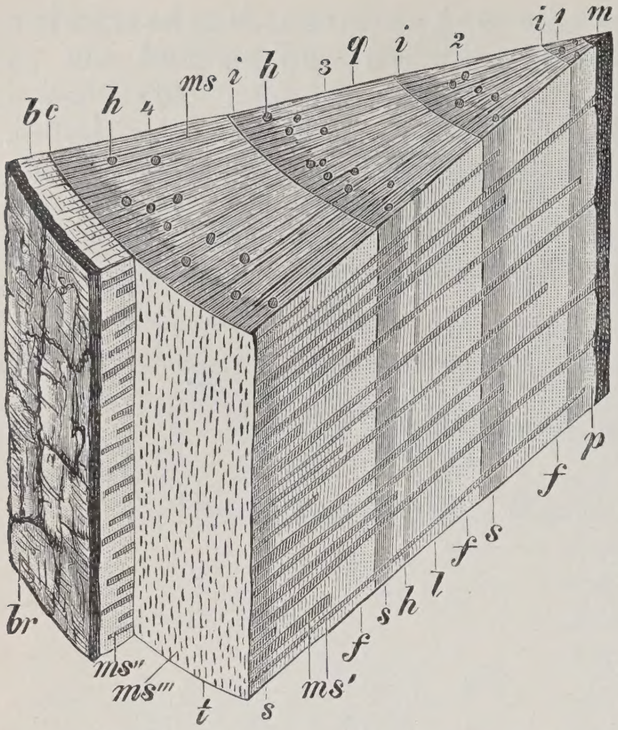


Fig. 138. Stück eines vierjährigen Stammteils der Kiefer (Pinus silvestris) im Winter geschnitten, *q* Querschnitts-, *l* radiale Längsschnitts-, *t* tangentiale Längsschnitts-Ansicht. *f* Frühholz, *s* Spätholz, *m* Mark, *p* primäre Vasalteile, *1*, *2*, *3* und *4* die vier aufeinander folgenden Jahresringe des Holzkörpers, *i* Jahresgrenze, *ms* Markstrahlen in der Querschnittsansicht des Holzkörpers, *ms'* in der Längsschnittsansicht des Holzkörpers, *ms''* innerhalb der Bastzone, *ms'''* in der tangentialen Längsschnittsansicht, *c* Cambiumring, *b* Bastzone, *h* Harzgänge, *br* die außerhalb der ersten Peridermlage befindliche, der primären Rinde entsprechende Borke. Vergr. 6.

Periodicität geltend, die meist durch die klimatischen Verhältnisse bedingt ist. Sie kommt in der Ausbildung von Jahresringen zum Ausdruck (Fig. 138, 140 und 146). Im allgemeinen werden im Frühjahr zur Zeit, wo die neuen Triebe sich entwickeln, weitere tracheale Elemente im Holzkörper ausgebildet als in der Folgezeit (Fig. 140, 148). So entsteht ein weitlumigeres (Fig. 140*f*) Frühholz (Frühlingsholz), welches vor allem die Wasserzufuhr nach den Verbrauchsorten fördert, und späterhin ein englumiges (Fig. 140*s*) Spätholz (Herbstholz), welches vor allem die Festigkeit des Stammes erhöht. In der zweiten Augusthälfte hört die Holzbildung in unseren Breiten auf und beginnt dann von neuem im nächsten Frühjahr mit weitlumigeren Elementen. Demgemäß zeichnet sich da eine Grenze (*i* Fig. 138), die dem bloßen Auge schon kenntlich ist und die zur Feststellung des Alters des betreffenden Pflanzenteils dienen kann. — Unter Umständen kann freilich die Zahl der Ringe im Holz die Zahl der Altersjahre überschreiten, wenn nämlich ein Austreiben der für die nächstjährige Vegetationsperiode bestimmten Knospen um die Johanniszeit, das heißt der sogen. Johannistriebe, wie sie unseren Eichen zukommen, oder wenn Blattverlust durch Raupenfraß und die dadurch bedingte Bildung neuer Triebe, eine Wiederholung der Frühholzbildung veranlaßt. In den Holzgewächsen der Tropen können die Jahresringe ganz fehlen, so beispielsweise, im Gegensatz zu unseren Nadelhölzern, bei den tropischen Nadelhölzern der Gattung Araucaria. Die Bildung von Jahresringen kann aber auch bei tropischen Holzgewächsen durch Unterbrechung der Vegetation während der Trockenperiode und eine auf diese folgende Triebbildung bedingt werden.

Nach vollendeter Holzbildung fährt das Cambium in unseren Breiten noch fort, so lange als es die Witterungsverhältnisse gestatten, Bast zu erzeugen. Es werden aber nach der Bastseite zu im allgemeinen weit weniger Elemente als nach der Holzseite gebildet. — Sowohl im Holz wie im Bast pflegt die Größe der Elemente bis zu einem gewissen Alter der Holzgewächse zuzunehmen.

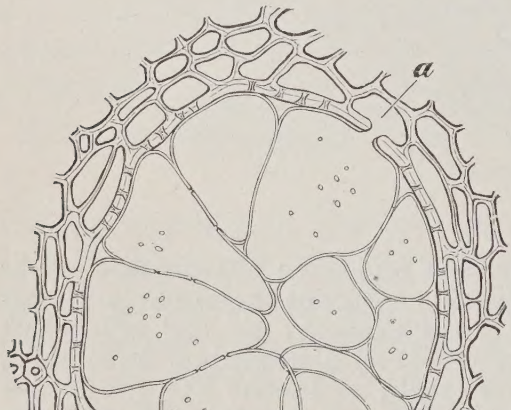


Fig. 139. Ein mit Thyllen erfülltes Gefäß, nebst den angrenzenden Elementen aus dem Kernholz der Robinie (Robinia Pseudacacia) im Querschnitt. Bei *a* und *a* ist der Zusammenhang der Thyllen mit ihren Ursprungszellen zu sehen. Vgr. 300.

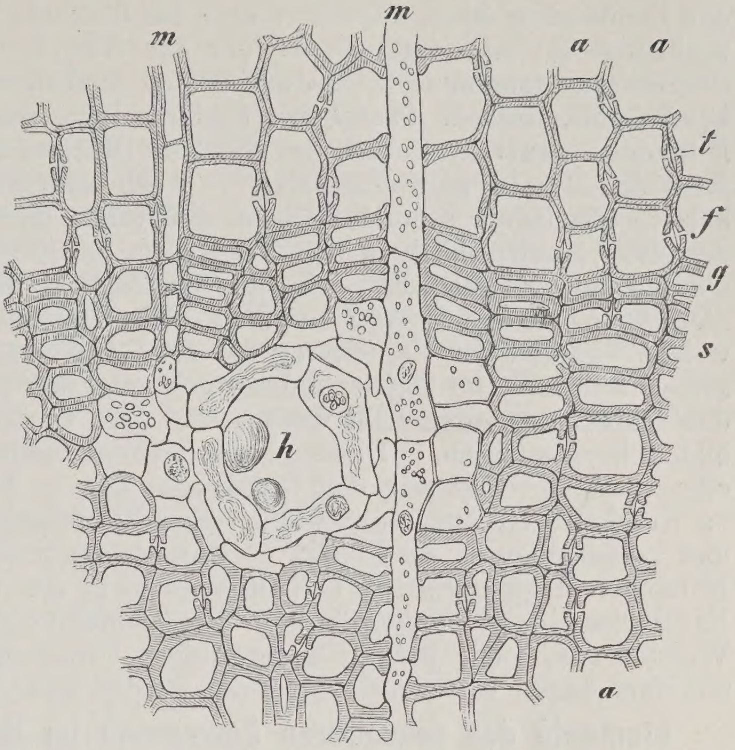


Fig. 140. Partie eines Querschnittes durch das Kiefernholz an einer Jahresgrenze. *f* Frühholz, *s* Spätholz, *t* Hoftüpfel, *a* eine sich nach außen verdoppelnde Tracheïdenreihe, *h* Harzgang, *m* Markstrahlen. Vergr. 240.

Der Holzkörper der Bäume kann dauernd bis an das Mark hin seine lebenden Elemente in größerer oder geringerer Vollständigkeit behalten. Solche Holzgewächse heißen Splinthölzer: Die Rotbuche gehört zu ihnen. In anderen Holzkörpern, den Kernhölzern, sterben die lebenden Elemente nach einer bestimmten Lebensdauer ab, so daß in einiger Entfernung vom Cambium nur noch tote Elemente zu finden sind. Vor dem Absterben pflegen die lebenden Zellen verschiedene organische Stoffe, besonders Gerbstoffe, zu erzeugen, die in die Membranen der umgebenden Elemente eindringen, und Schutz- oder Kerngummi, das ihre Hohlräume zum Teil verstopft. Die Gerbstoffe verleihen den toten Holzteilen eine bestimmte, oft sehr charakteristische Färbung, besonders dann, wenn sie in sogen. Holzfarbstoffe oder Xylochrome übergegangen sind. Die Gerbstoffe schützen den toten Holzkörper vor Zersetzung, während das Kerngummi die im toten Holze stets außer Funktion gesetzten Wasserbahnen mehr oder weniger verschließt. Der tote Holzteil wird als Kern dem lebenden ihn umgebenden Holze, dem Splint, gegenüber gestellt. Im allgemeinen fällt der Splint unmittelbar schon durch seine hellere Färbung auf, es gibt aber auch Hölzer, bei welchen das Kernholz seine Farbe nicht verändert. Meist fehlen dann auch die schützenden Stoffe in diesem Kernholz, und es unterliegt leichter der Zersetzung. Stämme mit solchem ungeschützten Kernholz werden im Alter leicht hohl, so z. B. unsere Weiden.

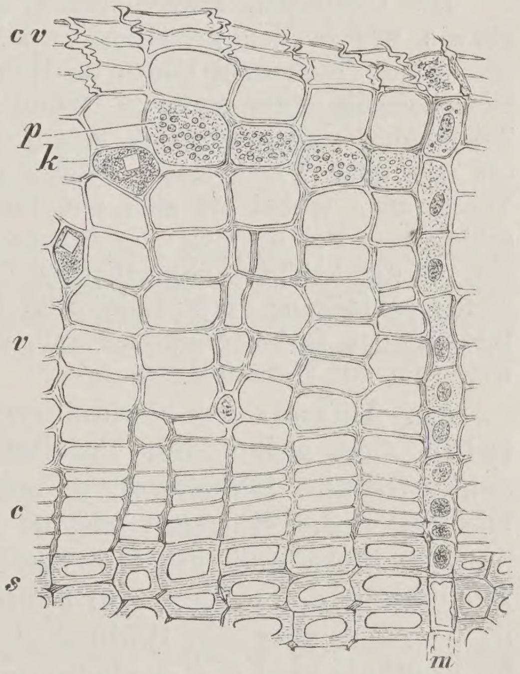


Fig. 141. Querschnitt aus dem Stamme der Kiefer, den äußeren Rand des Holzkörpers, das Cambium und den angrenzenden Bast in sich fassend. *s* Spätholz, *c* Cambium, *v* Siebröhren, *p* Bastparenchym, *k* kristallführendes Bastparenchym, *cv* außer Funktion gesetzte Siebröhren, *m* Markstrahlen. Vergr. 240.

Der Splint ist je nach der Holzart auf eine größere oder kleinere Zahl letzterzeugter Jahresringe beschränkt; ihm fällt die Aufgabe der Wasserleitung allein zu. Am schärfsten setzt der Splint vom Kernholz ab, wo letzteres eine dunklere Färbung zeigt: so bei unserer Eiche mit braunem Kern oder beim Ebenholz (Diospyros), dessen Kern schwarz ist. Je dunkler das Kernholz, um so dauerhafter pflegt es zu sein. Unter

den Farbhölzern fallen besonders auf: das Blauholz oder Campeche (Haematoxylon campechianum L.) mit rotem Kern, der das Hämatoxylin liefert; das rote Sandelholz (Pterocarpus santalinus L. fil.), aus dessen dunkelrotem Kern das Santalin, das Fernambukholz, Rotholz (Caesalpinia echinata Lam. und brasiliensis L.), aus dessen rotem Holz das Brasilin, endlich das Gelbholz (Maclura aurantiaca Nutt.), aus dessen gelbem Kern das Morin gewonnen wird. — Auch anorganische Stoffe können in den Kernhölzern abgelagert sein, bei Ulmus campestris und Fagus silvatica kohlensaurer Kalk, und zwar hauptsächlich in den Gefäßen; in den Gefäßen des Teakholzes (Tectona grandis) amorphe Kieselsäure. — Zu der Verstopfung der Wasserbahnen im Kernholz tragen nicht selten auch Thyllen bei (Fig. 139). Es sind das blasenförmige Ausstülpungen, welche während der Verkernung die den Gefäßen angrenzenden lebenden Zellen in dieselben treiben. Die Thyllenbildung geht von den Schließhäuten der Tüpfel aus, die in den Gefäßraum vorgewölbt werden und dort zu immer größeren, blasenförmigen Gebilden heranwachsen. Diese Blasen treffen aufeinander und füllen schließlich mehr oder weniger vollständig den Gefäßraum aus. — Die Schließhäute der Hoftüpfel sind im Kernholze einseitig vorgewölbt, einer Tüpfelmündung mit ihrem Torus angedrückt und verschließen so die Tüpfel. — Harz dringt nach H. Mayr ([71]) in die Membranen der Holzzellen unter normalen Verhältnissen nicht ein, wohl aber verkient das Holz unserer Nadelhölzer durch Imprägnierung der Zellwandungen mit Harz dann, wenn es von Wunden aus, oder infolge anderweitiger Ursachen, austrocknet. Im Kernholze der mit Harzgängen versehenen Koniferen werden diese Harzgänge durch Thyllen verstopft.

Elemente des sekundären Zuwachses im Holz. Sie sind verschieden, je nachdem es sich um ein gymnospermes oder dikotyles Holzgewächs handelt. Bei den Gymnospermen werden in den Holzsträngen fast nur Tracheïden erzeugt (Fig. 140). Dieselben tragen behöfte Tüpfel und zwar meist nur auf ihren radialen Wänden. Die Frühtracheïden (*f*) sind weitlumiger als die Spättracheïden (*s*). Außer Tracheïden wird Holzparenchym in den Holzsträngen, doch stets nur in sehr beschränktem Maße, gebildet und bei bestimmten Abietineen Harzgänge (Fig. 138 *h*) in dieses Holzparenchym eingeschaltet.

Die Gnetaceen ausgenommen, gehen den Gymnospermen im sekundären Zuwachs, ebenso wie in den primären Vasalteilen, echte Gefäße ab. Die vom Cambium aus erzeugten Tracheïden bilden im Holzkörper radiale Reihen, die von Zeit zu Zeit, durch Einschaltung einer radialen Wand im Cambium, verdoppelt werden (Fig. 140 *a*). Die Tracheïden sind wesentlich länger als die Cambiumzellen, aus denen sie hervorgehen, oft bis über 1 mm lang. Diese größere Länge erreichen sie durch nachträgliches Wachstum, wobei sie sich mit ihren fortwachsenden Enden radial zwischen einander schieben. Bei Bildung von Holzparenchym gehen die Cambiumzellen quere Teilungen ein. In den holzparenchymatischen Zellenzügen der Kiefern, Fichten und Lärchen werden (S. 81) schizogene Harzgänge (Fig. 140 *h*) angelegt. Bei den anderen Koniferen ist die Bildung des Holzparenchyms auf einfache Zellreihen beschränkt, deren Zellräume sich weiterhin mit Harz füllen.

Am Aufbau des sekundären Zuwachses der Holzstränge der Dikotylen sind außer den Tracheïden (*t*) und dem Holzparenchym (*hp*) auch echte Gefäße (Tracheen, *g*) und Holzfasern (*h*) beteiligt (Fig. 144 und 145). Die Zellen des Holzparenchyms zeichnen sich durch ihre Kürze und ihren Inhaltsreichtum aus, die Holzfasern durch ihre Länge, starke Verdickung und Zuspitzung der Enden. Im Frühholz werden weitlumigere Elemente erzeugt; es herrscht dort die Bildung der Wasserbahnen, besonders der Gefäße vor, im Spätholz sind die englumigen Elemente hauptsächlich vertreten, besonders die stark verdickten, die mechanische Festigkeit fördernden Holzfasern oder Fasertracheïden (S. 62). So wird auch in diesem Holze die Jahresgrenze deutlich markiert (Fig. 148).

Alle Elemente in den Holzsträngen der Dikotylen lassen sich aus einem trachealen und einem holzparenchymatischen Ursprung ableiten, aus den beiden Gewebearten somit, die uns auch im Holz der Gymnospermen bereits entgegentraten. — Zur trachealen Gewebeart gehören die Tracheïden und die Gefäße; zur holzparenchymatischen Ge-

webeart vor allem das Holzparenchym, die sogen. Ersatzfaser (*ef*), welche den gleichen Inhalt wie das Holzparenchym führt, auch nicht stärker verdickt ist, aber eine weit größere Länge aufweist, und die Holzfaser. Die Elemente der trachealen Gewebeart büßen frühzeitig ihren lebenden Inhalt ein und stellen im fertigen Zustande nur noch tote Zellräume vor. Sie sind vertreten: Durch relativ weitlumige, mit großen Hoftüpfeln, eventuell auch Schraubenbändern versehene Tracheïden (*t* Fig. 144), die der Wasserleitung dienen; durch gefäßartig ausgebildete, ähnlich verdickte und ebenso funktionierende Gefäßtracheïden (*gt*); durch englumige, zugespitzte, spaltenförmig verengte, kleine Hoftüpfel führende Fasertracheïden (*ft*), die in extremer Ausbildung nur noch mechanische Funktionen vollziehen; endlich durch Tracheen oder Gefäße (*g*) aus Zellfusionen hervorgegangen, mit allen jenen Verdickungsarten, welche die Ring-, Schrauben-, Netz-, Tüpfelgefäße kennzeichnen. Führen die Gefäße Hoftüpfel an den Seitenwänden, so haben sie dann häufig auch noch dünne Schrauben-

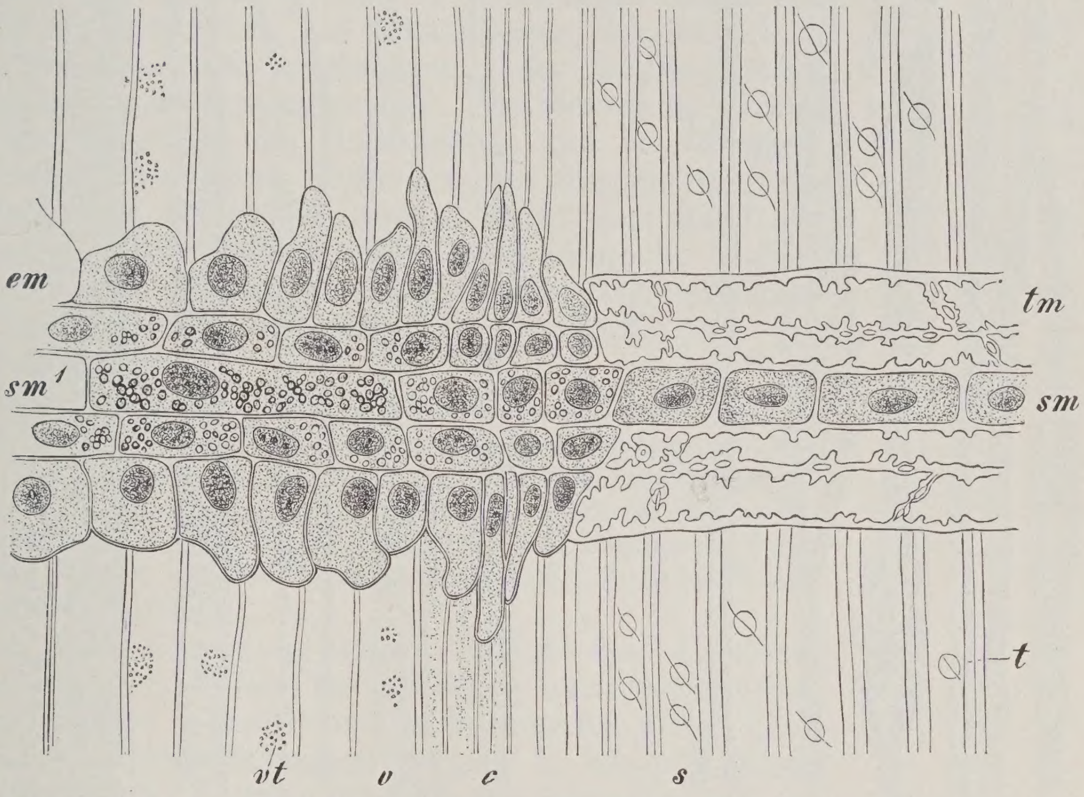


Fig. 142. Radialer Längsschnitt durch den Kiefernstamm, den Außenrand des Holzkörpers, das Cambium und den anschließenden Bast, sowie einen Markstrahl in sich fassend. *s* Spättracheïden, *t* Hoftüpfel, *c* Cambium, *v* Siebröhren, *vt* Siebtüpfel, *tm* tracheïdale Markstrahlzellen, *sm* stärkeführende Markstrahlzellen im Holzkörper, *sm'* im Bastkörper, *em* eiweißführende Markstrahlzellen. Vergr. 240.

bänder als tertiäre Verdickungsschicht aufzuweisen (Fig. 149 *m*). Alle Gefäße dienen der Wasserleitung. Sind sie englumig und den Tracheïden ähnlich gestaltet, so lassen sie sich als Tracheïdgefäße (*tg*) bezeichnen. — Die holzparenchymatische Gewebeart (Fig. 145) besteht aus Zellen, die ihren lebenden Inhalt im allgemeinen behalten und niemals echte Hoftüpfel mit Torus auf der Schließhaut, wie sie für die wasserleitenden Elemente charakteristisch sind, ausbilden. Wohl alle holzparenchymatischen Gewebe sind aus dem Holzparenchym (Fig. 145 *hp*) abzuleiten. Letzteres wird durch Querteilungen der Cambiumzellen erzeugt und weist demgemäß (*hp*) Zellreihen auf mit quergestellten Scheidewänden, welche den Querteilungen entstammen, und schräge gestellten Scheidewänden, welche den einseitig zugeschärften Enden der Cambiumzellen entsprechen. Die Holzparenchymzellen führen einfache, runde oder elliptische, je nach der Holzart verschieden große Tüpfel, enthalten wenigstens zeitweise Stärke; einzelne unter ihnen nehmen Nebenprodukte des Stoffwechsels in sich auf. Am nächsten steht diesem typischen Holzparenchym die Ersatzfaser (*ef*). Sie stimmt in ihrem Inhalt mit dem Holzparenchym überein, zeigt auch dieselbe Wandverdickung, ist aber

aus einer ganzen cambialen Zelle hervorgegangen. Dabei hat sie sich mehr oder weniger stark gestreckt und faserförmig gestaltet. Dieselbe Art der Entwicklung bei bedeutenderer Streckung und stärkerer Wandverdickung kommt der Holzfaser (Libriformfaser) zu (*h*). Dieselbe erhält zugleich spaltenförmig verengte, links aufsteigende kleine Tüpfel. Bei extremer Ausbildung (*h*) büßt die Holzfaser ihren lebendigen Inhalt vollständig ein, sie führt alsdann Luft und dient nur der mechanischen Festigung des Pflanzenkörpers. Die Holzfaser kann aber auch ihren lebenden Inhalt behalten. Unter Umständen stellt sich relativ spät noch eine Zellteilung in der Holzfaser ein und führt zur Bildung einer gefächerten Holzfaser (*gh*). Die so erzeugte Querwand bleibt dünn und fällt um so mehr gegen die stärker verdickten Seitenwände auf. — Während die Aufgabe der trachealen Gewebeart in der Wasserleitung liegt, fällt der

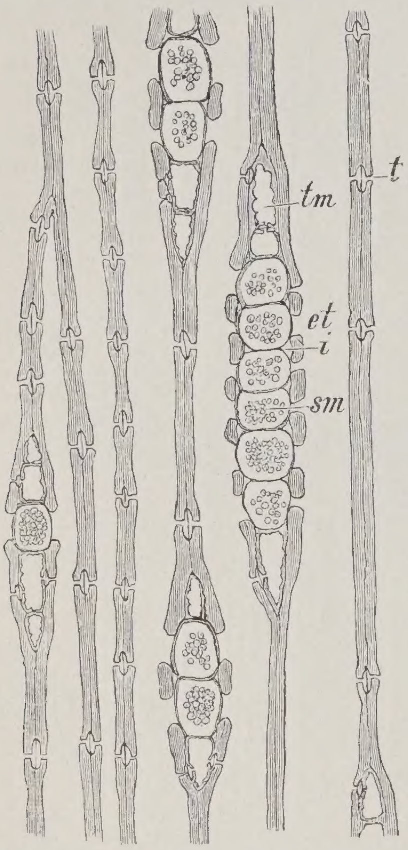


Fig. 143. Tangentialer Längsschnitt durch das Spätholz der Kiefer. *t* Hoftüpfel, *tm* tracheïdale, *sm* stärkeführende Markstrahlzellen, *et* einseitig behöfte Tüpfel, *i* Intercellularen am Markstrahl. Vergr. 240.

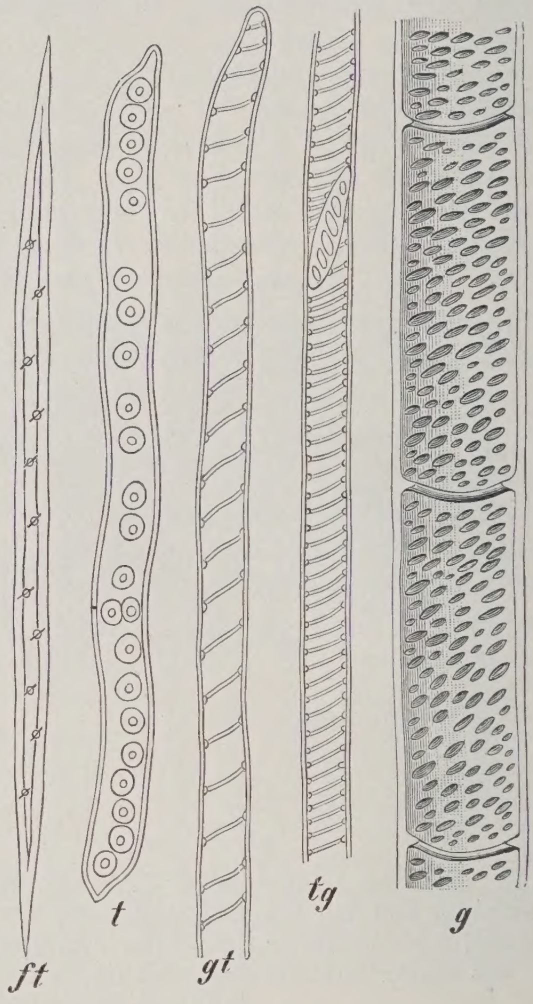


Fig. 144. Elemente der trachealen Gewebeart in schematischer Darstellung. Erklärung im Text.

holzparenchymatischen Gewebeart die Leitung und Aufspeicherung der Assimilate, vor allem der Kohlehydrate, beziehungsweise auch die Aufnahme der Nebenprodukte des Stoffwechsels, zu. Beide Gewebearten tragen zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit des Pflanzenkörpers bei und liefern bei extremer Ausbildung solche Elemente, wie die Fasertracheïden einerseits und die inhaltsleeren Holzfasern andererseits, die nur noch mechanischen Leistungen obliegen.

Aus den Elementen der trachealen und holzparenchymatischen Gewebeart werden die Holzstränge der dikotylen Gewächse aufgebaut, wobei meist nur ein Teil dieser Elemente in jedem Einzelfalle vertreten ist.

Unter den Dikotylen haben allein die zur Gattung Drimys gehörenden, den Magnolien nah verwandten Bäume nur aus Tracheïden aufgebaute Holzstränge aufzuweisen. Sie ähneln in ihrem Bau auffallend den Nadelhölzern. Bei zahlreichen Leguminosen,

bei Weiden, Pappeln, Ficus-Arten ist die tracheale Gewebeart andererseits nur durch Gefäße in den Holzsträngen vertreten. Die Gefäße allein haben dort somit das Wasser zu leiten, im übrigen weisen die Holzstränge noch Holzparenchym und der Hauptmasse nach Holzfasern auf. Schlingende Holzgewächse (Lianen) sind durch sehr weite Gefäße ausgezeichnet.

Die lebenden Elemente der Holzstränge zeigen in ihrer Verteilung stets bestimmte Beziehungen zu den Wasserbahnen. Sie begleiten dieselben, hüllen sie auch mehr oder weniger vollständig ein. Ein Teil dieser lebenden Zellen kommuniziert durch einseitig behöfte Tüpfel mit den Wasserbahnen. Solche Tüpfel sind ohne Hof in der lebenden Zelle, mit Hof in dem trachealen Element, auch im Gegensatz zu den echten, beiderseits behöften Hoftüpfeln ohne Torus auf der Schließhaut.

Die Elemente des sekundären Zuwachses im Bast. Die Baststränge der gymnospermen und dikotylen Holzgewächse werden aus Siebröhren, beziehungsweise diesen mit ihren Geleitzellen, aus kurzzelligem, inhaltsreichem Bastparenchym und englumigen, sehr langen, stark verdickten Bastfasern aufgebaut. Die Siebröhren dienen der Eiweißleitung, die Geleitzellen, und wo sie nicht vorhanden, besondere Zellreihen des Bastparenchyms, der Entnahme der Stoffe aus den Siebröhren; das Bastparenchym der Leitung und Speicherung der Kohlehydrate, auch der Aufnahme bestimmter Nebenprodukte des Stoffwechsels, besonders der Gerbstoffe und des Calciumoxalats.

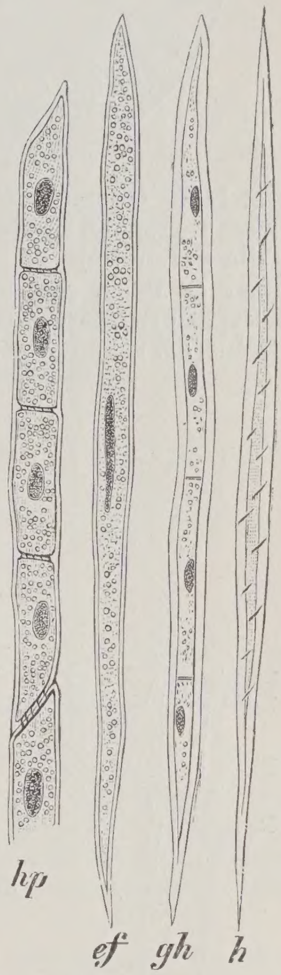


Fig. 145. Elemente der holzparenchymatischen Gewebeart in schematischer Darstellung. Erklärung im Text.

Auch alle Elemente der Baststränge lassen sich von zwei Gewebearten ableiten, der cribralen und der bastparenchymatischen. Das cribrale Gewebe wird durch die Siebröhren, beziehungsweise diese und ihre Geleitzellen vertreten, das parenchymatische durch das Bastparenchym und die Bastfasern, deren extreme Formen an das Bastparenchym durch Zwischenformen sich anknüpfen lassen.

Bei den Gymnospermen bildet das Cambium (*c* Fig. 141) für den Bast Siebröhren (*v*) ohne Geleitzellen, Bastparenchym (*p* und *k*) und in bestimmten Fällen auch Bastfasern. Diese Elemente pflegen in Bändern abzuwechseln. — Die Funktion der fehlenden Geleitzellen wird bei bestimmten Gattungen der Koniferen (Araucarien, Taxineen, Cupressineen) durch an die Siebröhren anschließende Längsreihen von Bastparenchym vollzogen. — In einiger Entfernung vom Cambium erhalten die Siebplatten der Siebröhren Callusbelege. In der auf ihre Bildung folgenden Vegetationsperiode entleeren sich die Siebröhren und werden zerdrückt (Fig. 141 *cv*). Bei solchen Koniferen, die eiweißhaltige Bastparenchymzellen führen, erleiden diese dasselbe Schicksal wie die angrenzenden Siebröhren. Die stärkehaltigen Bastparenchymzellen hingegen verharren jahrelang am Leben und schwellen sogar dort, wo die Siebröhren zerdrückt werden, an.

In den Baststrängen der dikotylen Holzgewächse (Fig. 150) sind die Siebröhren (*v*) mit Geleitzellen (*c*) versehen, außerdem werden dort Bastparenchym (*p*), Bastfasern (*l*) und die zwischen Bastparenchym und Bastfasern vorhandenen Übergangsformen gebildet.

Wie die Holzfasern in den Holzsträngen, so können auch die Bastfasern in den Baststrängen in unverdickter Form als Ersatzbastfasern, mit oder ohne lebenden Inhalt, mit Stärke angefüllt, endlich auch gefächert, auftreten.

Oft zeigen auch bei den Dikotylen die Elemente der Baststränge eine große Regelmäßigkeit in ihrer Aufeinanderfolge; so wechseln miteinander bei der Linde (Fig. 150)

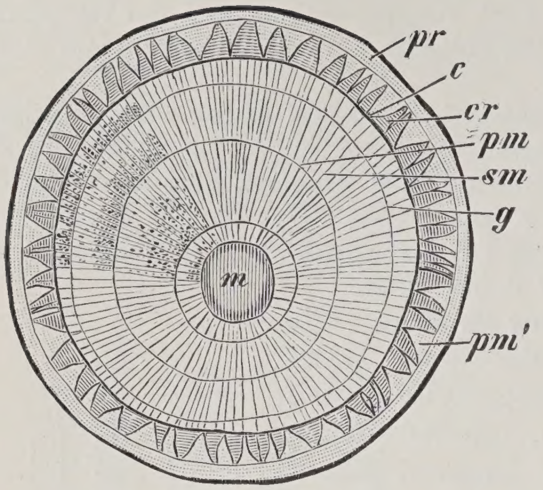


Fig. 146. Querschnitt durch einen im vierten Jahre stehenden Zweig der kleinblätterigen Linde (Tilia parvifolia). *pr* primäre Rinde, *c* Cambiumring, *cr* Bast, *pm* primäre Markstrahlen, *pm'* äußeres erweitertes Ende eines primären Markstrahls, *sm* sekundärer Markstrahl, *g* Jahresgrenze, *m* Mark. Vergr. 6.

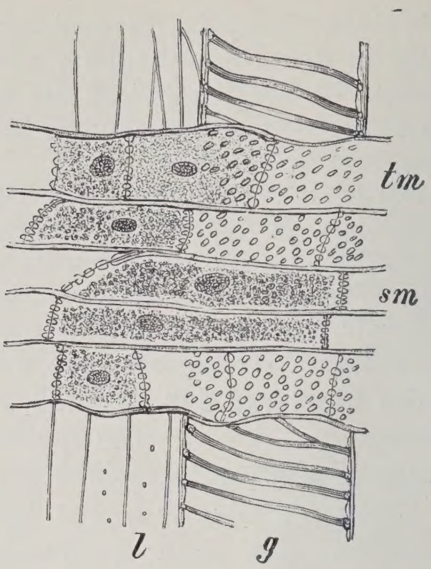


Fig. 147. Radialer Längsschnitt aus dem Holz von Tilia parvifolia mit einem kleinen Markstrahl. *g* Gefäß, *l* Holzfasern; *tm* mit den Wasserbahnen durch Tüpfel verbundene, *sm* der Leitung der Assimilate vornehmlich dienende Markstrahlzellen. Vergr. 240.

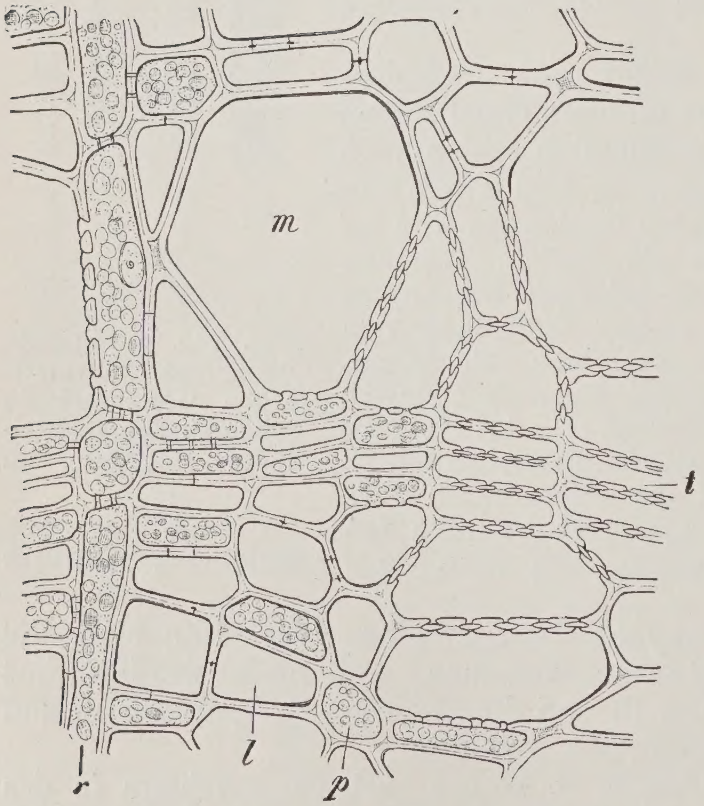


Fig. 148. Teil eines Querschnittes durch den Holzkörper von Tilia parvifolia an einer Jahresgrenze. *m* weites Tüpfelgefäß, *t* Tracheïden, *l* Holzfaser, *p* Holzparenchym, *r* Markstrahl. Vergr. 540.

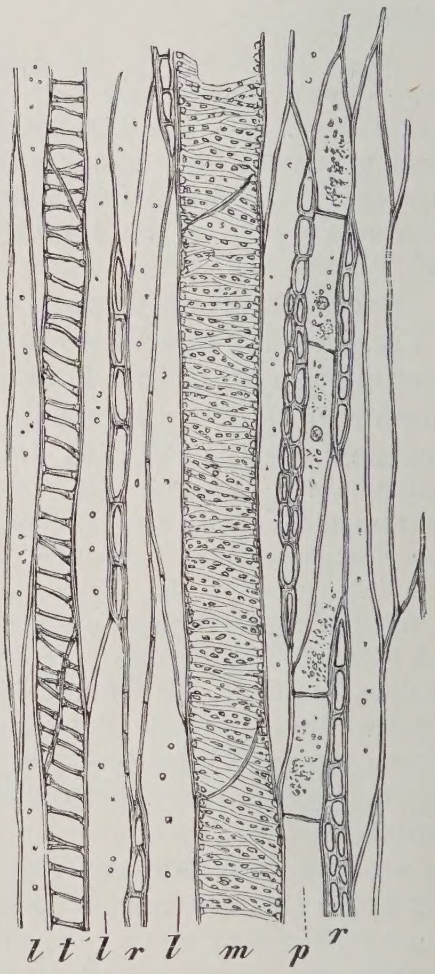


Fig. 149. Tangentialer Längsschnitt aus dem Holz von Tilia parvifolia. *m* Tüpfelgefäß, *t* mit Schraubenbändern versehene Tracheïden, *p* Holzparenchym, *l* Holzfaser, *r* Markstrahlen. Vergr. 160.

Siebröhren (*v*) nebst Geleitzellen (*c*), stärkeführendes Bastparenchym (*p*), kristallführendes Bastparenchym (*k*), Bastfasern (*l*), flache Bastparenchymzellen (*p*) und endlich wiederum Siebröhren in Bändern ab. Wie bei den Gymnospermen haben auch bei den Dikotylen die Siebröhren eine kurze Funktionszeit, werden hierauf entleert und zerdrückt. Dasselbe Schicksal trifft die Schwesterzellen der Siebröhrenglieder, die Geleitzellen, während das stärkeführende Bastparenchym viele Jahre erhalten bleibt. Die Verschiedenheit im Aussehen der Baststränge bei den dikotylen Holzgewächsen wird vornehmlich durch die größere oder geringere Weite der Siebröhren, das Vorhandensein oder das Fehlen von Bastfasern, endlich durch die Art der Verteilung der Elemente bedingt.

Markstrahlen. Die Markstrahlen der gymnospermen (Fig. 138 *ms*) und dikotylen (Fig. 146 *pm* und *sm*) Holzgewächse sind bandförmige, radial verlaufende Gewebestreifen, die vorwiegend oder ausschließlich von parenchymatischen Elementen gebildet werden. Sie haben vor allem die Aufgabe, die in den Blättern erzeugten und im Bast abwärts geleiteten Stoffe in radialen Bahnen dem Cambium und Holzkörper zuzuführen. Durch die lebenden Elemente der Markstrahlen werden die lebenden Elemente der Baststränge mit denjenigen der Holzstränge verbunden, und so das gesamte lebende Gewebe des Stammes zu einer Einheit erhoben. — Außerdem werden die Markstrahlen an ihren Seiten, oder wenn sie mehrschichtig sind, auch im Innern, von luftführenden Intercellularen begleitet. Diese beginnen in der Peripherie des Stammes, durchsetzen das Cambium und kommunizieren mit allen Intercellularen, welche den lebenden Elementen in den Holz- und Baststrängen folgen. So kann durch Vermittlung der Markstrahlintercellularen der für die Lebensvorgänge der lebenden Zellen notwendige Gasaustausch mit der Atmosphäre unterhalten werden.

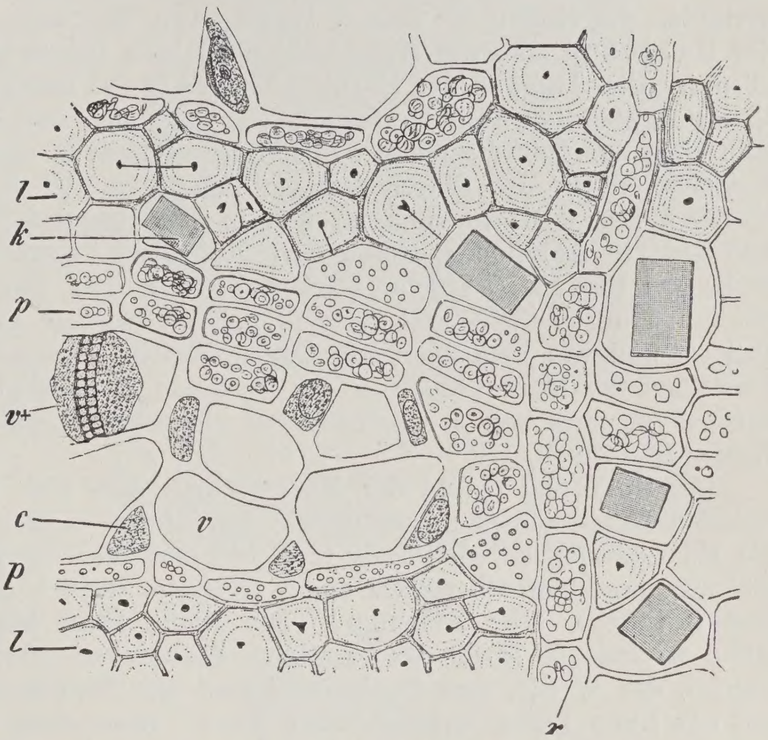


Fig. 150. Durchschnitt durch den Bast der Linde (Tilia parvifolia). *v* Siebröhren, bei *v** eine Siebplatte getroffen, *c* Geleitzelle, *p* Bastparenchym, *k* kristallführende Zellen des Bastparenchyms, *l* Bastfasern, *r* Markstrahl. Vergr. 540.

Innerhalb des Holzkörpers führen die Markstrahlzellen im wesentlichen dieselben Inhaltsstoffe wie das Holzparenchym. Es sind das vor allem Stärke, doch auch Gerbstoffe, Harz und Kristalle. Bei bestimmten Gymnospermen, vor allem den Kiefern, sind einzelne Zellreihen der Markstrahlen, meist die randständigen, ohne lebenden Inhalt tracheïdal ausgebildet, durch Hoftüpfel untereinander und mit den Tracheïden verbunden (*tm* Fig. 142 und 143). Sie sind bestimmt, den Wasseraustausch in radialer Richtung unter den Tracheïden zu erleichtern. Bei den anderen Nadelhölzern, welchen solche tracheïdale Elemente in den Markstrahlen fehlen, sind tangentiale Hoftüpfel in den Tracheïden des Spätholzes vorhanden, wodurch eine radiale Bewegung des Wassers gefördert wird. Die lebenden Zellen der Markstrahlen des Holzkörpers zeigen dieselben Beziehungen zu den Wasserbahnen wie das Holzparenchym und hängen wie jenes durch einseitig behöfte Tüpfel mit ihnen zusammen. Sie nehmen Wasser aus den Wasser-

bahnen auf und geben es nach Bedarf an andere lebende Zellen ab; andererseits pressen sie im Frühjahr, zur Zeit der Knospenentfaltung, Assimilate, vor allem Glukosen und geringe Mengen von Albuminaten in die Wasserbahnen ein, damit diese Stoffe möglichst rasch nach den Verbrauchsorten gelangen. Demgemäß ist während des Winters und im Beginn des Frühjahrs Zucker und Eiweiß in den trachealen Elementen nachzuweisen (72) und diese Stoffe auch in dem Blutungssaft enthalten, den man im Frühjahr durch Bohrlöcher aus Birken, Ahorn-Arten, Hainbuchen und anderen Bäumen gewinnen kann. Bei den Dikotylen sind es meist nur bestimmte Zellreihen des Markstrahls im Holzkörper, deren Elemente mit den Wasserbahnen sich inniger verbunden zeigen. Diese Zellreihen nehmen für gewöhnlich die Ränder des Markstrahls ein und sind höher; man hat sie daher auch als stehende Markstrahlzellen bezeichnet. Die mittleren Zellreihen des Markstrahls sind entsprechend niedriger, gestreckter, ohne besondere Verbindung mit den Wasserbahnen, vornehmlich auf Leitung und Speicherung der Assimilate eingerichtet; sie stellen die sogen. liegenden Markstrahlzellen dar (73). — Innerhalb der Bastzone sind die Markstrahlen bei den Dikotylen einfacher gebaut als im Holzkörper. Die Aufgabe der Markstrahlzellen in der Bastzone, die innerhalb der Baststränge abwärts geleiteten Stoffe aufzunehmen, zeigt sich durch die Tüpfel an, die nicht nur die Zellreihen des Markstrahls mit dem Bastparenchym, sondern bei den Dikotylen auch mit den Geleitzellen der Siebröhren verbinden. — Bei denjenigen Nadelhölzern, welchen eiweißführende Bastparenchymzellen in den Baststrängen abgehen, so bei den Kiefern und anderen Abietineen, treten eiweißführende Zellreihen in den Markstrahlen an deren Stelle (*em* Fig. 142). Solche Markstrahlzellen sind den Siebröhren dicht angeschmiegt, mit ihnen durch Siebtüpfel verbunden. Sie werden auch mit den Siebröhren zugleich entleert und wie jene dann zusammengedrückt. Umgekehrt pflegen die stärkeleitenden Zellreihen der Markstrahlen in der Bastzone, ganz ähnlich wie das stärkeleitende Bastparenchym, zwischen den zerdrückten Siebröhren noch anzuschwellen und jahrelang am Leben zu bleiben.

Die Höhe und Breite der Markstrahlen läßt sich leichter an tangentialen als an radialen Längsschnitten feststellen. An solchen tangentialen Längsschnitten erscheinen die Markstrahlen spindelförmig (Fig. 143 und 149). Ihre Größe schwankt bei den meisten Hölzern nur innerhalb relativ enger Grenzen, doch bei gewissen Hölzern, so der Eiche und Rotbuche, sehr bedeutend. Die Eiche führt bis zu 1 mm Breite und fast 1 dm Höhe erreichende große Markstrahlen, dazwischen zahlreiche sehr enge kleine. Bei der Pappel, der Weide, dem Buchsbaum sind alle Markstrahlen so klein, daß man sie auch mit der Lupe kaum unterscheiden kann. Besondere Höhe und Breite erreichen die primären, sich über die Länge eines ganzen Internodiums erstreckenden Markstrahlen bei vielen Lianen (S. 24). Diejenigen Nadelhölzer, welche Harzgänge in den Holzsträngen führen, besitzen sie auch innerhalb einzelner breiter Markstrahlen. Diese radialen Harzgänge stehen in Verbindung mit den vertikalen. Daher so große Harzmengen aus einem verwundeten Kiefern- oder Fichtenstamm ausfließen können.

Dickenwachstum der gymnospermen und dikotylen Wurzeln. Bei denjenigen Gymnospermen und Dikotylen, deren Stamm in die Dicke wächst, kommt ein solches Dickenwachstum auch den Wurzeln zu (74). Wie wir gesehen haben (Fig. 123, 130), wechseln im Centralcylinder der Wurzel die Vasal- und Cribralstränge miteinander ab. Soll nun eine solche Wurzel in sekundäres Dickenwachstum eintreten, so bilden sich an der Innenseite der Cribralstränge, durch Teilung des Grundgewebes, Cambiumstreifen aus, die nach innen Holz, nach außen Bast bilden. Alsbald treffen die Ränder der Cambiumstreifen im Pericykel vor den Vasalsträngen zusammen, und nun ist ein vollständiger Cambiumring da, der im ganzen Umkreis seine Tätigkeit ausüben kann. Unsere schematische Figur 151 *A* soll zur Veranschaulichung dieses Vorgangs dienen. Der Cambiumring ist in sie als dunkle Linie eingetragen. Die Buchten des Cambiumringes gleichen sich durch seine Tätigkeit bald aus, so daß er kreisförmig wird. Vor den primären Vasalsträngen (*g'*) bildet er nur Markstrahlgewebe, und sind es daher die weitesten Markstrahlen, die später auf diese führen (Fig. 151 *B*). Der Querschnitt durch eine Wurzel, die bereits jahrelang in die Dicke wuchs,

ist von einem Stammquerschnitt ohne eingehendere Untersuchung nicht zu unterscheiden. Erst durch letztere läßt sich das Vorhandensein der primären Gewebe inmitten der Wurzel, die für deren Natur bezeichnend sind, feststellen. Ein anderer Umstand fällt dann gleichzeitig auf, nämlich der, daß das Holz der Wurzel weitlumiger als das entsprechende Stammholz ist, und seiner ganzen Masse nach bis zu einem gewissen Maße die Eigenschaften von Frühholz besitzt. Die Grenze der Jahresringe ist demgemäß im Holzkörper der Wurzeln nur schwach markiert.

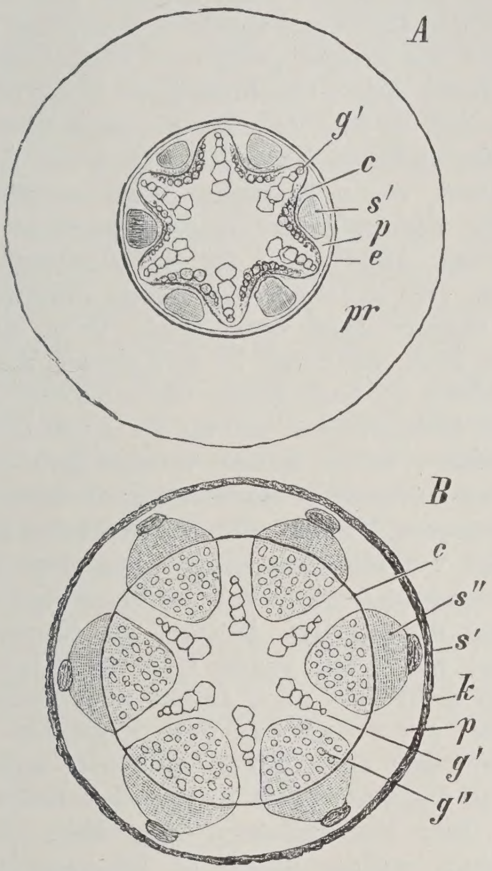


Fig. 151. Schematische Darstellung des Dickenwachstums einer dikotylen Wurzel. In *A* bedeutet *pr* primäre Rinde, *e* Endodermis. In *A* und *B* sind *c* Cambiumring, *g'* primärer Vasalstrang, *s'* primärer Siebstrang, *p* Pericykel; in *B* bedeuten außerdem *g''* sekundär erzeugtes Holz, *s''* sekundär erzeugter Bast, *k* Periderm.

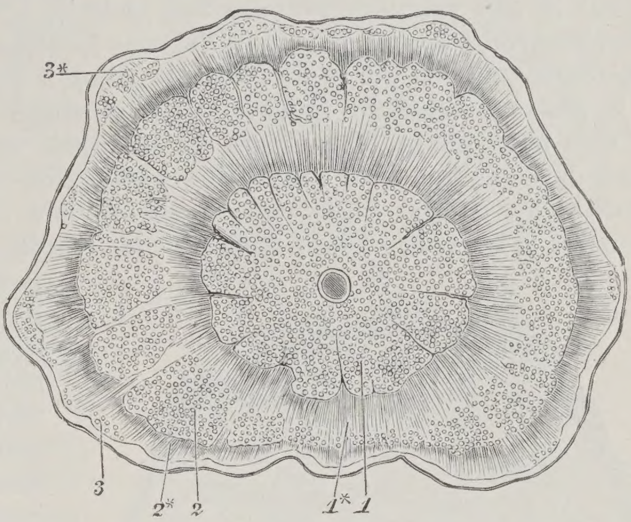


Fig. 152. Querschnitt durch einen Stamm von Mucuna altissima, *1*, *2* und *3* aufeinander folgende Holzkörper. *1** *2** *3** aufeinander folgende Bastzonen. $^3/_4$ nat. Gr.

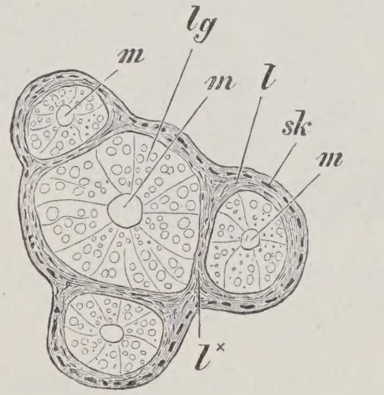


Fig. 153. Querschnitt durch den Stamm von Serjania Laruotteana. *sk* Teile des zersprengten Sklerenchymringes des Pericykels, *l* und *l** Bastzonen, *lg* Holzkörper, *m* Mark. Vergr. 2.

Besondere Formen des Dickenwachstums dikotyler Stämme und Wurzeln (75). Von den gewohnten Vorgängen des sekundären Dickenwachstums, wie wir sie kennen gelernt haben, kommen in den Stämmen wie in den Wurzeln bei Gymnospermen und Dikotylen auch andere vor, die als ungewohnt gelten müssen. Wir greifen einige der häufigeren heraus. Bei den Cycadeen und bestimmten Gnetum-Arten unter den Gymnospermen, bei Chenopodiaceen, Amarantaceen, Nyctagineen, Phytolaccaceen und noch anderen Familien unter den Dikotylen, hört der erste in gewohnter Weise entstandene Cambiumring alsbald zu funktionieren auf, und es bildet sich ein neuer Cambiumring außerhalb der Bastzone, meist im Pericykel oder einem von demselben abstammenden Gewebe. Dieser Cambiumring bildet nach innen Holz, nach außen Bast nebst den zugehörigen Markstrahlen, dann erlischt er, und ein neuer, außerhalb der Bastzone entstehender, tritt an seine Stelle. Der Vorgang wiederholt sich und führt zur Bildung koncentrischer Holz-Bastringe. Solche lassen sich schon mit dem bloßen Auge an

Querschnitten durch eine Zuckerrübe unterscheiden. Deutlicher noch treten sie uns an dem in der Figur 152 dargestellten Stammquerschnitt einer zu den Papilionaceen gehörenden Liane, der Mucuna altissima entgegen. Der abgebildete Stamm zeigt einen inneren von einer Bastzone (*1**) umgebenen Holzkörper (*1*), einen nächstäußeren Hohlcylinder von Holz (*2*) und Bast (*2**), und endlich einen dritten (*3* und *3**), der in Bildung begriffen ist, innerhalb des Pericykels. — Ein ungewohntes Aussehen haben die Querschnitte von Stämmen, die mehrere Holzcylinder in ihrem Innern aufweisen (Fig. 153). Ein solcher Bau ist verschiedenen tropischen Lianen (S. 23) aus den Sapindaceen-Gattungen Serjania und Paullinia eigen. Er kommt dadurch zu stande, daß die Gefäßbündel in den primären Stammteilen nicht im Kreise angeordnet sind, sondern einen tief ausgebuchteten Ring bilden und daß das Interfascicularcambium bei seinem Auftreten die Fascicularcambien der in den vorspringenden Teilen des Ringes gelegenen Gefäßbündel zu je einem besonderen Cambiumring vereinigt. Jeder dieser Cambiumringe bildet dann für sich nach innen Holz, nach außen Bast, was den in Fig. 153 für Serjania Laruotteana dargestellten Bau schließlich bedingt. — Sehr auffällig ist endlich auch das Aussehen vieler zu den Bignoniaceen gehörenden Lianen, deren Holzkörper wie zerklüftet erscheint (Fig. 154). Die primären Stammteile der Bignoniaceen zeigen zunächst die gewohnte Anordnung der Gefäßbündel im Kreise. Der in Tätigkeit tretende Cambiumring erzeugt auch nach innen Holz, nach außen Bast, zunächst in gewohnter Weise und bildet so nach innen einen normal gebauten Holzcylinder, der als axiales Holz bezeichnet wird. Solche normal gebauten inneren Holzpartien kommen auch anderen im weiteren Verlauf der Entwicklung sich anomal verhaltenden Lianen zu. Bei den Bignoniaceen beginnt der Cambiumring nach Anlage des axialen Holzes, an einzelnen Stellen nur noch wenig Holz nach innen, um so mehr Bast nach außen zu erzeugen. Das hat zur Folge, daß tiefe Bastkeile, die stufenförmig nach außen an Breite zunehmen, in das äußere, als periaxial bezeichnete Holz hineinreichen (Fig. 154). Das Cambium wurde dabei in Längsstreifen, breitere an den Holzvorsprüngen, schmälere im Grunde der Bastkeile, zerlegt. Das fortwachsende Holz, welches, wie auch sonst, vom Cambium aus nach innen erzeugt wird, muß notwendiger Weise an den Bastkeilen, deren Gewebe an der Außenseite des Cambiums entsteht, vorbeigleiten, so daß seitlich zwischen dem periaxialen Holze und den Bastkeilen keine Verbindung besteht.

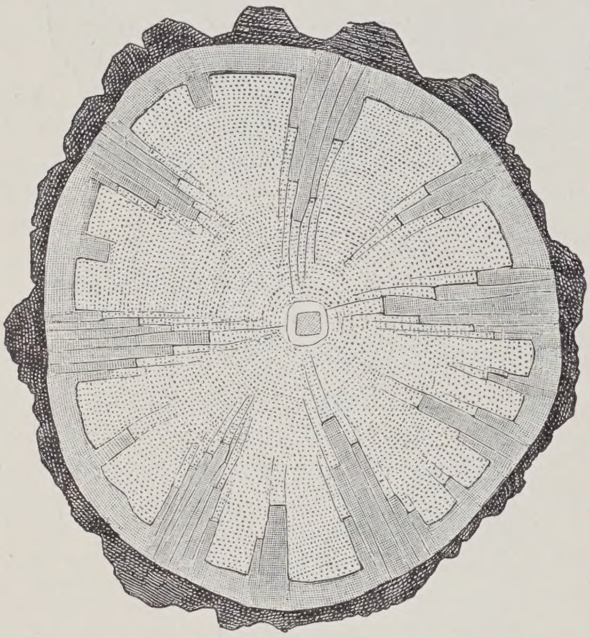


Fig. 154. Querschnitt durch den Stamm einer Bignoniacee aus Blumenau. Nat. Gr.

Dickenwachstum monokotyler Stämme und Wurzeln. Es gibt auch einige monokotyle Pflanzenfamilien und Gattungen, so vornehmlich Dracaenen, Yucca, Aloineen, Dioscoreaceen und einen Teil der Palmen([76]) (S. 103), deren Stämme und Wurzeln befähigt sind, einen Cambiumring auszubilden. Er entsteht im allgemeinen außerhalb der zerstreuten Gefäßbündel, im Pericykel, aus Grundgewebe, ist somit ein Folgemeristem, und erzeugt nicht Holz und Bast in entgegengesetzter Richtung wie bei den Gymnospermen und Dikotylen, vielmehr längere Zeit nur Zellen nach innen, die sich weiter vermehren und schließlich zu geschlossenen Gefäßbündeln und dem zwischen ihnen gelegenen, stark sich verdickenden parenchymatischen Grundgewebe werden. Der Cambiumring ist hier somit zunächst ein einseitig tätiger([70a]) monopleurischer (S. 105). Er besitzt keine Initialen und wird aus dem nach außen angrenzenden Grundgewebe ergänzt, gehört somit den Etagencambien (S. 105) an. Erst später beginnt

dieser Cambiumring auch nach außen Zellen abzugeben, die ein parenchymatisches, dünnwandiges Grundgewebe bilden, und mit diesem die Rinde verstärken (Fig. 155). Sobald die beiderseitige Tätigkeit des Cambiumrings sich einstellt, bildet sich in ihm auch eine Initialenschicht aus.

Dickenwachstum der Blätter (77) ist im wesentlichen auf Nadelhölzer mit mehrjährigen Nadeln beschränkt, doch auch für einige Dikotylen mit immergrünem Laub nachgewiesen. Der Zuwachs geht von dem fascicularen Cambium aus, bleibt stets gering und findet vorwiegend, wenn nicht ausschließlich, nach der Bastseite statt. Dem Holz werden bei solchem Dickenwachstum fast nur wasserleitende Elemente, dem Bast vornehmlich Siebröhren hinzugefügt.

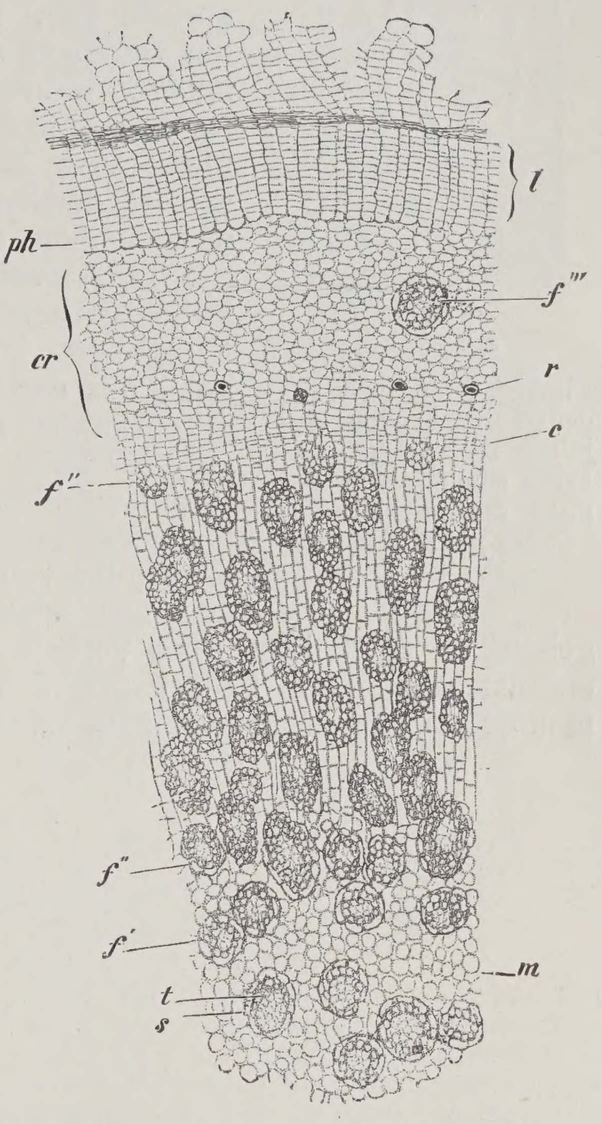


Fig. 155. Cordyline (Dracaena) rubra. Querschnitt durch den Stamm. *f* Gefäßbündel und zwar *f'* primäre, *f''* sekundäre, *f'''* ein aus einem Blatte kommendes, noch innerhalb der primären Rinde befindliches Gefäßbündel, *m* parenchymatisches Grundgewebe, *s* Gefäßbündelscheide, *t* Tracheïden, *c* Cambiumring, *cr* Rinde, etwa von *cr* an nach außen primär, nach innen sekundär, *ph* Korkcambium, *l* Kork, *r* Raphidenbündel. Vergr. 30.

Periderma (78). Nur bei einer begrenzten Anzahl von Pflanzen vermag die Epidermis der Dickenzunahme eines Stammteils, und zwar durch Teilung ihrer Zellen, eine Zeitlang zu folgen. So ist es beispielsweise bei der Mistel (Viscum album), deren Epidermiszellen durch Einschaltung neuer Seitenwände sich vermehren und neue Cuticularschichten bilden, während die älteren gesprengt werden. Doch setzt an älteren Stengelgliedern die Bildung der Verdickungsschichten in einzelnen Epidermiszellen oder Gruppen dieser Zellen aus und an deren Stelle treten entsprechend sich verdickende Rindenzellen. Die ausgeschalteten Epidermiszellen sterben ab und so kommt es, daß an alten Stengelgliedern die ursprüngliche Epidermis mehr oder weniger beseitigt ist. — Bei der weitaus größten Zahl solcher Pflanzen, welchen eine mehrjährige Epidermis zukommt, vermag diese, ohne Beteiligung der Rinde, den Ansprüchen zu genügen, welche die Dickenzunahme des Stammes an sie stellt. Beim gestreiften Ahorn (Acer striatum) sind selbst fußdicke, vierzig und mehr Jahre alte Stämme größtenteils noch mit lebender, fortwachsender Epidermis bedeckt. Die Streifung, der dieser Baum seinen Namen verdankt, rührt von weißem Wachs her, das aus Rissen der Außenwände hervortritt. Für gewöhnlich pflegt aber die Epidermis an den in die Dicke wachsenden Stammteilen nur passiv gedehnt und alsbald gesprengt zu werden. Leichter gelingt es meist den Geweben der primären Rinde und der nach außen vom Cambiumringe gelegenen Teile des Centralcylinders, dem Dickenwachstum des Stammes zu folgen. Die Zellen dieser

Gewebe werden gedehnt und treten in Teilung ein. Besonders auffällig wird diese Erscheinung an den zwischen den primären Siebteilen gelegenen Enden der primären Markstrahlen. Sie erfahren nach außen eine starke Erweiterung, so wie das beispielsweise an dem in Fig. 146 dargestellten Querschnitte eines Lindenzweiges zu sehen ist (*pm'*). — Meist stellt sich schon in der ersten Vegetationsperiode, bald nachdem der sekundäre Zuwachs begonnen hat, Peridermbildung an der Oberfläche des Stammes ein. Dann bräunt sich die Stammoberfläche, während sie hingegen grün bleibt, falls die Epidermis sich fortentwickelt. Diese Peridermbildung pflegt auch in den mit mehrjährigen, zunächst fortwachsenden Epidermen versehenen Pflanzen später nicht auszubleiben, sie geht tatsächlich nur den Mistelarten ab. Die Peridermbildung wird durch Anlage eines Folgemeristems, das man als Korkcambium oder Phellogen bezeichnet, eingeleitet. Dieses Phellogen kann aus der Epidermis oder einer tieferen Zellschicht der primären Rinde, ja selbst des Pericykels hervorgehen. Meist ist das Phellogen([70a]) ein dipleurisches Initialencambium, das nach außen Korkzellen, nach innen sogenannte Korkrinde, Phelloderma, bildet. Die Erzeugung von Korkzellen pflegt zu überwiegen. Werden nur letztere nach außen vom Phellogen abgegeben, so zeigt dieses das Verhalten monopleurischer Etagencambien und ergänzt sich nach Bedarf aus dem angrenzenden Grundgewebe. Solche monopleurische Etagencambien sind vornehmlich unter den Phellogenen

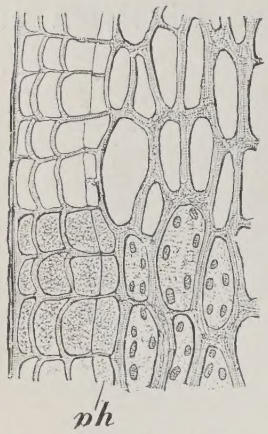


Fig. 156. Querschnitt aus der Oberfläche eines einjährigen Zweiges von Pirus communis zu Beginn der Peridermbildung, *ph* Phellogen. Vergr. 300.

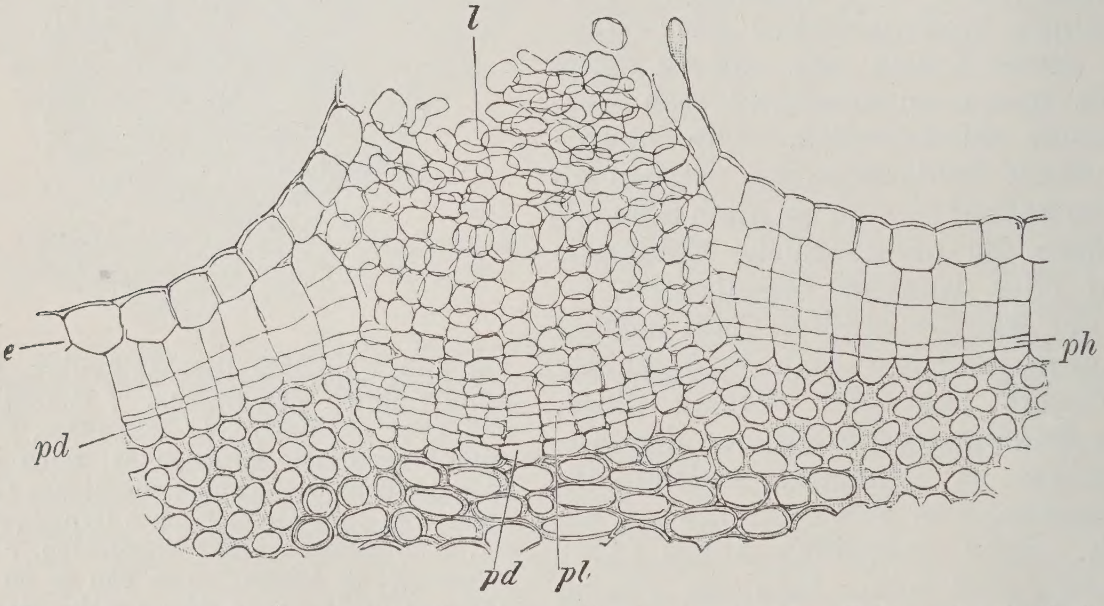


Fig. 157. Querschnitt durch eine Lenticelle von Sambucus nigra. *e* Epidermis, *ph* Phellogen des Periderms, *pd* Phelloderma, *pl* Phellogen der Lenticelle, *l* Füllzellen. Vergr. 90.

der Monokotylen vertreten, kommen aber auch bei einzelnen Dikotylen vor, so bei Valeriana officinalis. — Die jungen Korkzellen haben meist tafelförmige Gestalt. Sie schließen intercellularfrei zusammen und sind mit verkorkten sekundären Membranschichten versehen. Die Wände der fertigen Korkzellen erscheinen meist braun gefärbt; sie bleiben entweder verhältnismäßig dünn (Fig. 155*l*), oder sie werden mehr oder weniger stark, unter Umständen

(Fig. 156) einseitig verdickt. Sehr stark verdickter Kork wird als Steinkork bezeichnet. — Dünnwandige Korkzellen führen für gewöhnlich Luft; stark verdickte weisen oft rotbraune Inhaltsstoffe (Phlobaphene), die vornehmlich aus Gerbstoff und seinen Zersetzungsprodukten bestehen, auf. — Vielfach wechseln im Kork Lagen dickwandiger engerer und dünnwandiger weiterer Zellen periodisch ab. Diese Lagen entsprechen Jahresproduktionen. — Schon dünne Korkhäute setzen die Transpirationsgröße an der Oberfläche der Pflanzenteile bedeutend herab; auch bieten stärkere Korklagen mechanischen Schutz und verhindern das Eindringen der Schmarotzer.

Die vom dipleurischen Phellogen erzeugte Korkrinde (Phelloderma) kann in manchen Fällen, so beim Johannisbeerstrauch, sehr kräftige Entwicklung zeigen. Ihre Zellen pflegen chlorophyllhaltig zu sein; sie sind abgerundet und durch luftführende Intercellularen getrennt; sie dienen zur Verstärkung der lebendigen Rinde. — Kork- und Korkrinde werden in der Bezeichnung Periderma zusammengefaßt.

Der Kork der Korkeiche (Quercus Suber) wird von breiten Lagen weicher, weiter Korkzellen gebildet, mit welchen dünne, die Grenzen der Jahresproduktion bezeichnende flache Lagen abwechseln, wie sie an Korkstöpseln zu erkennen sind. Der erste spontan erzeugte Kork der Korkeiche wird bis auf das Phellogen vom Stamm entfernt, worauf einige Zelllagen tiefer sich ein neues Phellogen bildet, das den technisch verwertbaren Kork liefert. Dieser wird alle 6 bis 8 Jahre geschält.

In zahlreichen Fällen geht das Phellogen aus der Epidermis hervor (Fig. 156 *ph*). So ist es bei der Weide, bei sämtlichen Pomaceen und bei einer Anzahl anderer Holzgewächse. Die Epidermiszellen werden alsdann in eine äußere und eine innere Zelle zerlegt, welche letztere als Phellogenzelle fungiert. Am häufigsten wird die auf die Epidermis folgende Zellschicht zur Phellogenbildung verwendet, so z. B. beim schwarzen Holunder (Sambucus nigra). Das Phellogen geht bei ihm aus der äußersten Kollenchymschicht (Fig. 157 *ph*) hervor. Die Epidermis liegt demgemäß der in Bildung begriffenen Korkschicht auf.

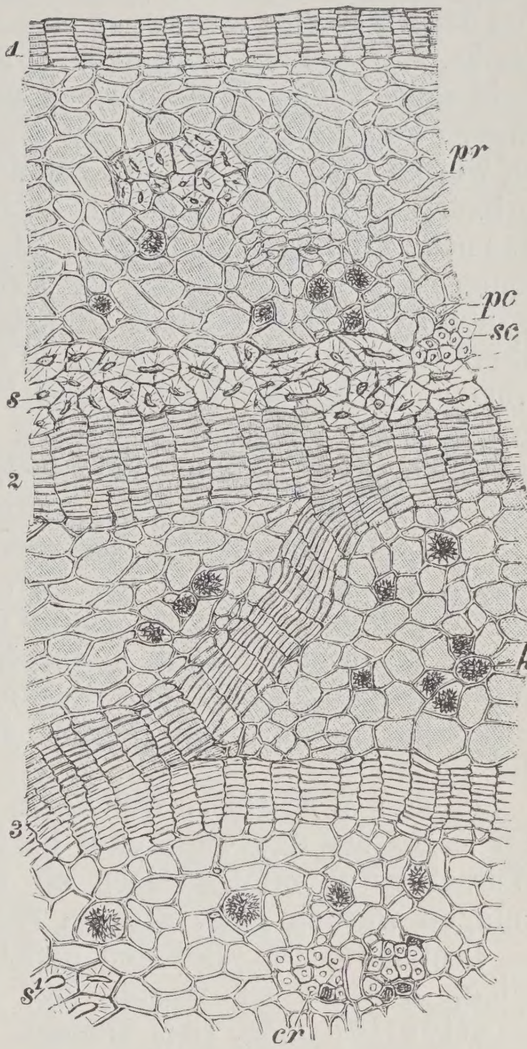


Fig. 158. Querschnitt aus der Stammoberfläche der Steineiche (Quercus sessiliflora). *1*, *2* und *3* nacheinander erzeugte Korkschichten; die innere Korkschicht noch hell, die äußeren gebräunt. *pr* primäre, durch nachträgliche Wachstumsvorgänge veränderte Rinde. Von *pc* an Pericykel; *sc* Sklerenchymfasern aus einem zersprengten Sklerenchymfaserringe des Pericykel, *s* nacherzeugte Steinzellen, *s'* Steinzellen im sekundären Zuwachse, *cr* Bastfasern von kristallführenden Zellen begleitet, *k* Zellen mit Kristalldrusen. Alles Gewebe außerhalb der innersten Korkschicht abgestorben und gebräunt in Borke verwandelt. Vergr. 225.

Echter Kork ist bei den Kryptogamen auf Ophioglossum beschränkt. Die fleischigen Stipeln der Marattiaceen weisen auf ihrer gebräunten Oberfläche eine, durch regellose Teilung subepidermoidaler Zellen entstandene Zellschicht auf, die humifiziert ist und die als Pseudophelloid bezeichnet wurde ([78a]).

Borke. Was vom Phellogen nach außen zu liegen kommt, wird von

weiterer Nahrungszufuhr abgeschnitten und muß absterben. Wird die erste Korkschicht gleich in größerer Entfernung von der Stammoberfläche angelegt, so sterben auch sofort größere peripherische Gewebemassen ab und bilden Borke. Nur selten bleibt das erste Phellogen dauernd in Tätigkeit. Bildet es nur eine dünne Korkschicht, so zeigt der Stamm eine glatte Oberfläche, z. B. bei der Rotbuche; erzeugt es eine stärkere Korkschicht, so wird die Oberfläche rissig, z. B. bei der Korkeiche. Für gewöhnlich stellt das erste Phellogen alsbald seine Tätigkeit ein, und es wird ein neues tiefer im Stamm angelegt. Auch dessen Tätigkeit erlischt nach einiger Zeit, und es entsteht wieder ein neues, so wie es Fig. 158 für die Steineiche zeigt. Schließlich sind es nicht mehr primäre, sondern sekundäre Gewebe, die Parenchyme der Bastzone, in welchen das neue Phellogen sich bildet. Die durch das Periderm nach außen abgeschnittenen Bastteile haben sich von Nahrungsstoffen entleert und führen nur Nebenprodukte des Stoffwechels. Umfassen die Peridermlagen nur Stücke der Stammoberfläche, so wird die Borke in Schuppenform, als Schuppenborke abgeworfen, so bei der Kiefer oder Platane; bilden die Peridermlagen hingegen geschlossene Cylinder, so werden hohlcylindrische Rindenmassen als Ringelborke entfernt, so beim Weinstock, Kirschbaum, Waldrebe, Geißblatt. Schwer sich ablösende Borke wird während der Dickenzunahme des Stammes nur rissig, was das rissige Aussehen der Rinde der meisten alten Bäume bedingt. Die braune oder rote Färbung, welche die Borken meist zeigen, wird durch ähnliche Derivate von Gerbstoffen wie die Färbung der Kernhölzer veranlaßt. Diese antiseptisch wirksamen Stoffe bedingen die große Widerstandsfähigkeit der Borke. Die ungewohnte weiße Färbung der Birkenborke rührt von Betulin (Birkenharz) her, das als feinkörniger Inhalt die Zellen füllt.

In den Wurzeln, welche in die Dicke wachsen, geht das Phellogen in der Regel aus dem Pericykel hervor (Fig. 151 *B*, *k*). Die primäre Rinde der Wurzel stirbt infolgedessen ab und wird abgestreift. Spätere Phellogenanlagen werden ganz wie am Stamm gebildet.

Lenticellen(79). Bei den meisten Holzgewächsen, vornehmlich den Dikotylen, werden, zu Beginn der Peridermbildung, auch Rindenporen oder Lenticellen (Fig. 157) erzeugt. Bei peripherischer Korkbildung findet die Anlage der Lenticellen fast stets unter den Spaltöffnungen statt. Es bildet sich dort ein Phellogen (*pl*), das nach außen nicht Korkzellen, sondern sogen. Füllzellen (*l*), die durch Intercellularen getrennt werden, nach innen Phelloderma erzeugt. Die Füllzellen durchbrechen alsbald die Epidermis und heben sie lippenförmig empor. Wo die Füllzellen locker zusammenhängen, bildet das Phellogen, abwechselnd mit ihnen, Schichten fester verbundener Zellen, sogen. Zwischenstreifen, oder Verschlußschichten, welche weiterhin gesprengt werden. Das korkbildende Phellogen vereinigt sich alsbald mit dem lenticellenbildenden (Fig. 157). Beginnt die Korkbildung gleich tiefer im Gewebe, so werden auch die Lenticellen entsprechend tief angelegt. Die Lenticellen vermitteln den Gasaustausch der inneren Gewebe mit der Atmosphäre.

Trennungsschichten. Der Blattfall(80) wird vermittelt durch eine parenchymatische Gewebeschicht, die am Grunde des Blattstiels ausgebildet wird und deren Zellen sich durch Verschleimung der Mittellamellen voneinander trennen. Meist wird diese Trennungsschicht erst kurz vor dem Blattfall kenntlich, nur selten tritt sie schon früher auf. Alle parenchymatischen Gewebe des Blattstiels sind innerhalb der Trennungsschicht sehr reduziert; verholzt zeigen sich dort nur die trachealen Elemente. Sie werden beim Blattwurf durchrissen. Der Verschluß der Blattnarben erfolgt durch eine

Korkschicht, die an das Periderma des Stammteils ansetzt. Die Enden der trachealen Elemente an der Blattnarbe füllen sich mit Schutzgummi, auch wohl mit Thyllen, die Enden der Siebröhren werden zerdrückt und cutinisieren. — Auch die Blättchen zusammengesetzter Blätter pflegen durch Vermittlung von Trennungsschichten von ihren Spindeln abgeworfen zu werden.

Wundenheilung (80a). Verloren gegangene Gewebeteile der niederen Gewächse werden oft direkt regeneriert. Nicht so bei den höher organisierten Pflanzen. Bei diesen ist eine solche Erscheinung im wesentlichen nur für Periderm und in einzelnen Fällen für Teile der Gefäßbündel beobachtet worden. Im einfachsten Falle trocknen Wundflächen am Körper der Landpflanzen nur aus, und die trocknen und gebräunten äußeren Zellen schützen dann das tiefer gelegene Gewebe. So verhält es sich ganz allgemein bei den Kryptogamen, ausnahmsweise hingegen nur bei den Phanerogamen. Bei letzteren pflegen die Wunden durch Kork sich abzuschließen. Dieser Kork wird als Wundkork bezeichnet. Er geht aus einem Korkcambium hervor, das unter der Wundfläche angelegt wird. Damit ist bei krautartigen und parenchymatischen Pflanzenteilen die Heilung meist vollzogen. Bei holzigen Gewächsen kommt es für gewöhnlich zur Bildung eines sogen. Callus. Es wuchern alsdann alle an die Wunde grenzenden lebendigen Zellen aus ihr hervor und schließen zusammen. Diese Wucherung kann unmittelbar verkorken und so den nötigen Schutz gewähren; in den meisten Fällen bildet sich aber in der Peripherie des Callus ein Phellogen aus, das Kork erzeugt. — Wunden am Stamm der Gymnospermen und Dikotylen, die bis in den Holzkörper reichen, werden überwallt. Es wächst alsdann das an die Wundränder grenzende Stammcambium wulstartig hervor. Der Wulst schließt sich durch Kork nach außen ab und differenziert in seinem Innern eine Cambiumschicht, welche das Stammcambium fortsetzt. Dieses Cambium bildet, wie das angrenzende, nach innen Holz, nach außen Bast. So vergrößern sich die Überwallungswulste und decken allmählich die Wundfläche. Gelingt es den Überwallungswulsten, sich mit den Rändern zu erreichen, so verschmilzt ihr Cambium und bildet fortan eine zusammenhängende Holzschicht nach innen und Bastschicht nach außen. Das deckende Holz verwächst nicht mit dem bei der Verwundung bloßgelegten. Letzteres ist gebräunt und abgestorben. Daher in Stämme eingeschnittene Zeichen, die bis auf den Holzkörper reichen, in diesem später wiederzufinden sind. Durch Überwallung vom Cambiumringe aus werden auch Aststumpfe mehr oder weniger vollständig abgeschlossen. Neue Vegetationspunkte für Adventivsprosse nehmen oft in solchen Calli ihren Ursprung. — Das auf den Wunden erzeugte Holz ist in seinem Bau von normalem Holze zunächst verschieden und wird daher als Wundholz bezeichnet. Es besteht aus fast isodiametrischen Zellen, auf die erst allmählich gestrecktere Zellformen folgen. — An der Basis abgetrennter Pflanzenteile, die als Stecklinge behandelt werden, tritt eine Callusbildung auf, die je nach der Pflanzenart stärker oder schwächer ist. Sie nimmt in extremen Fällen die Gestalt stark vorspringender Wulste an, in deren Innern weiterhin Anlagen für Adventivwurzeln entstehen.

Maserbildung. Sie beruht auf einem ungewohnten verbogenen oder verschlungenen Verlauf der Elemente des Holzkörpers und liefert die in der Holzindustrie so geschätzte Maser, Wimmer oder Flader. Sie kann durch Wundreize, Parasiten, durch den Druck dicker werdender Seitenäste, auch durch veränderte Cambiumtätigkeit veranlaßt sein. Durch das Auftreten zahlreicher gedrängter Adventivknospen, wie es besonders nach Verwundungen sich einstellt, wird grobe Maserung erzeugt, feine Maserung vornehmlich

durch starkes Anschwellen der Markstrahlen, die in tangentialem Durchschnitt dann fast kreisrund erscheinen und den Verlauf der Holzelemente entsprechend beeinflussen (80b).

Phylogenie der inneren Gestaltung.

Die phylogenetische Differenzierung des inneren Baues der Pflanzen deckt sich nicht vollständig mit derjenigen ihrer äußeren Gliederung. Selbst einzellige Pflanzen haben in der Abteilung der Schlauchalgen (Siphoneen) einen hohen Grad äußerer Ausgestaltung erreicht. Das tritt uns besonders bei Caulerpa (Fig. 280) entgegen, die einzellig ist, dessenungeachtet aber in stamm-, blatt- und wurzelähnliche Glieder sich äußerlich gesondert zeigt. Nicht minder lernten wir unter den roten Meeresalgen (Florideen) Pflanzenformen kennen, welche, wie das in Fig. 9 dargestellte Hydrolapathum, in ihrer Gliederung an diejenige der höchst organisierten Pflanzen erinnern und doch aus Zellen fast nur einer Art aufgebaut sind. Die innere Sonderung, die solche Algen aufweisen, ist nur so weit gediehen, daß die äußeren, die roten Chloroplasten führenden, assimilierenden Gewebe aus isodiametrischen,

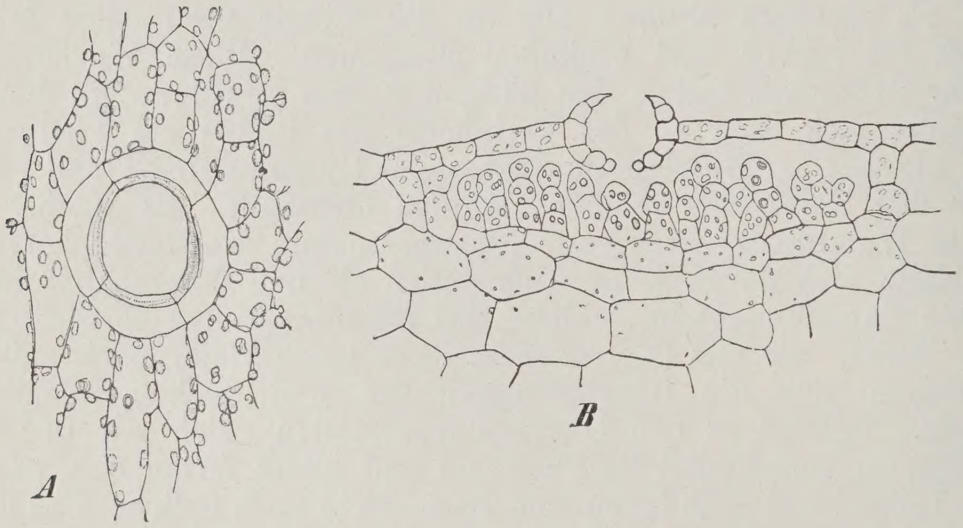


Fig. 159. Oberflächenansicht und Querschnitt des Thallus der Marchantia polymorpha. In *A* eine Atemöffnung von oben, in *B* im Querschnitt. Vergr. 240.

die inneren farblosen, der Leitung dienenden Gewebe aus longitudinal gestreckten Zellen bestehen. Den relativ höchsten Grad innerer Differenzierung erlangen unter den Algen die braunen, zu den Phaeophyceen gehörenden Laminarien. In den stammartigen Achsen, die nicht unbedeutende Dicke bei diesen Pflanzen erreichen, haben die äußeren Gewebe vielfach Schleimgänge, die inneren sogar siebröhrenartige Zellenzüge (60) aufzuweisen. Diese Achsen wachsen in die Dicke durch fortgesetzte Teilung der Zellen einer äußersten Zellschicht, beziehungsweise einiger äußerer Zellschichten. Die inneren Produkte dieser Teilungstätigkeit bilden eine Art Rinde, die sogar koncentrische Schichtung aufweisen kann und deren innerste Zellen sich successive strecken, um zu dem inneren, als Mark bezeichneten Gewebe überzugehen. — Der auf eine Verflechtung von Hyphen zurückzuführende Körper auch der massigsten Pilze beschränkt seine innere Differenzierung im wesentlichen auf ein festeres oder lockereres Gefüge, eine mehr oder weniger innige Verbindung der verflochtenen Elemente. Im äußersten Falle wird diese Vereinigung so fest, daß Querschnitte den Eindruck eines paren-

chymatischen Gewebes machen (Fig. 105 und 106). In einem solchen Gewebe können sogar, bei nachträglicher Verdickung der Wände, die Tüpfel benachbarter Hyphen aufeinandertreffen. Im Fruchtkörper zahlreicher Hut- und Bauchpilze führen bestimmte, besonders lange und stärker angeschwollene Hyphen einen homogenen oder trüben, stark lichtbrechenden, unter Umständen auch gefärbten Inhalt und dienen allem Anschein nach zu Leitungszwecken. — Die Gewebesonderung schreitet erst bei den Bryophyten wesentlich weiter fort. Zur Abgrenzung einer Epidermis vom Grundgewebe kommt es auch bei diesen Gewächsen nur ausnahmsweise. So setzt sich am Thallus der Marchantien unter den Lebermoosen und an der Basis der Sporenkapseln der Bryineen unter den Laubmoosen eine äußerste Zellschicht gegen das innere Gewebe ab. Bei den Marchantien ist sie von Öffnungen (Fig. 159) durchsetzt, die als Atemöffnungen bezeichnet werden, aber andern Ursprungs wie die Spaltöffnungen der höheren Gewächse sind. Die Atemöffnungen stellen nämlich, wie Leitgeb(81) zeigte, die Mündungsstellen von Höhlungen dar, die einer Überwölbung bestimmter Stellen der Oberfläche durch andere stärker wachsende ihre Entstehung verdanken. In der äußersten Zellschicht, am Grunde der Laubmooskapseln, werden hingegen ebenso gebaute Spaltöffnungen wie bei den Pteridophyten und Phanerogamen erzeugt. Daß jene Spaltöffnungen der Bryineen den Spaltöffnungen der höheren Pflanzen homolog sein sollten, läßt sich nicht annehmen, vielmehr liegt hier wiederum eine jener Analogien vor, wie solche, wohl aus inneren Entwicklungsursachen, so oft vorkommen. Den Stämmchen mancher Bryineen kommen bereits sehr einfach gebaute Leitbündel (Fig. 160) zu, auch haben diese Laubmoose in der einschichtigen Blattspreite einen mehrschichtigen Mittelnerv, der ein Leitbündel enthält, aufzuweisen. Immerhin lassen sich die Bryophyten, so wie es 1813 durch Auguste Pyrame de Candolle(82) bei Aufstellung seines natürlichen Systems des Pflanzenreichs geschah, mit den andern niederen Kryptogamen als Zellenpflanzen zusammenfassen und den Gefäßpflanzen, d. h. den durch die Pteridophyten und Phanerogamen vertretenen Gewächsen, gegenüberstellen. Erst bei den Gefäßpflanzen kommt, zugleich mit der Ausbildung der Wurzeln, die Sonderung der inneren Gewebe in Hautgewebesystem, Grundgewebesystem und Gefäßbündelsystem zu stande und führt dort zu einer weitgehenden Differenzierung.

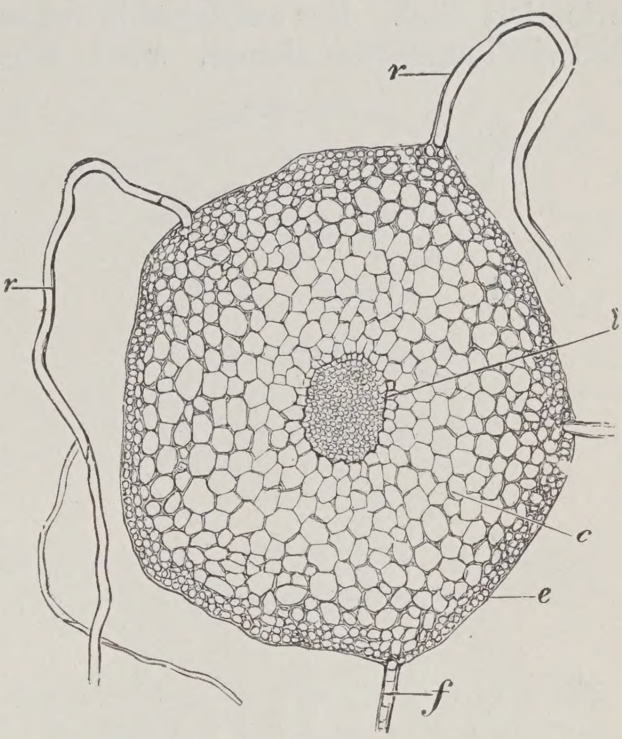


Fig. 160. Querschnitt durch das Stämmchen von Mnium undulatum. *l* Leitbündel, *c* Rinde, *e* die äußerste Zellenschicht derselben, *f* Blattflügel, *r* Rhizoide. Vergr. 90.

Ontogenie der inneren Gestaltung.

Mag die Entwicklung einer Pflanze von einer ungeschlechtlich erzeugten Spore oder einem befruchteten Ei ausgehen, sie beginnt mit einer einzigen

Zelle. Bei einzelligen kugeligen oder stäbchenförmigen Organismen von so einfacher Gestaltung wie etwa Gloeocapsa polydermatica (Fig. 1) oder Bakterien (Fig. 4), wird der ganze Entwicklungsgang mit der Zweiteilung, welche neue selbständig werdende Individuen liefert, abgeschlossen (Fig. 1). Bleiben bei fortgesetzter, nur in einer Richtung fortschreitender Zweiteilung die Zellen miteinander verbunden, so kommt ein Zellfaden zu stande, (Fig. 4 *a**). Zellflächen werden erzeugt, wenn die Teilungen zwar nach verschiedenen Richtungen, doch in derselben Ebene erfolgen; Zellkörper entstehen, wenn die Teilungswände nach drei Richtungen des Raumes orientiert sind. Der entstehende Organismus bleibt auf einer sehr niedrigen Entwicklungsstufe stehen, wenn alle seine Zellen gleichwertig sind und sich in gleicher Weise weiter vermehren. Einen höheren Grad der Differenzierung erreicht die Pflanze mit Ausbildung von Scheitel und Basis. Ein Vegetationspunkt wird angelegt, der fast stets den Scheitel einnimmt (Fig. 5). Eine einzige Zelle bildet ihn zunächst. Immer deutlicher prägt sie sich als eine Scheitelzelle aus, von der die Gliederung des Pflanzenkörpers ausgeht. So bei der braunen Meeresalge Cladostephus verticillatus, die in Fig. 7 dargestellt ist. Die vielzelligen Hauptachsen dieser Alge laufen in kegelförmige Scheitelzellen aus. Jede dieser Scheitelzellen teilt sich durch quere Wände und bildet so die scheibenförmigen Segmente des Körpers. Diese teilen sich zunächst durch Längswände, dann durch Querwände in eine größere Anzahl von Gewebezellen. Aus bestimmten Randzellen der Segmente wachsen in akropetaler Folge die Seitenzweige hervor, die den Habitus der Pflanze bestimmen (Fig. 7). — Auch flache bandartig gestaltete Pflanzenkörper können eine kegelförmige, meist entsprechend abgeflachte Scheitelzelle besitzen, so die in Fig. 8 dargestellte braune Meeresalge Dictyota dichotoma ([83]). Von ihrer Scheitelzelle (*a* Fig. 161 *A*) werden durch konkave Querwände flache Segmente abgeschnitten, die des Weiteren sich durch Längswände teilen. Wir stellten früher schon (S. 10, 13) die dichotomische Verzweigung bei dieser Alge fest. Diese Gabelung wird durch eine Längswand eingeleitet, welche die Scheitelzelle in zwei gleiche neben-

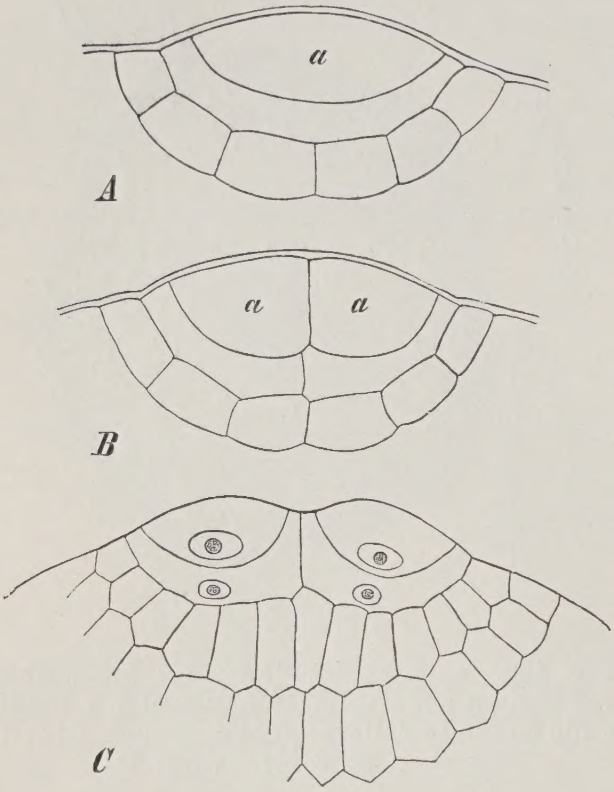


Fig. 161. Der Vegetationspunkt von Dictyota dichotoma und dessen Gabelung. *a* die Scheitelzellen. Nach E. de Wildeman. Vergr. ca. 500.

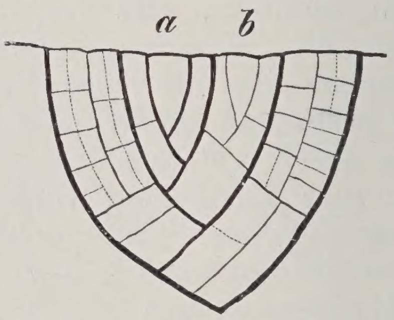


Fig. 162. Schema des Vegetationspunktes von Metzgeria furcata im Augenblick der Verzweigung. Von der Rückenfläche gesehen. *a* die Scheitelzelle des Muttersprosses, *b* des Tochtersprosses. (Nach Kny.) Vergr. ca. 370.

einander gelegene Hälften zerlegt (*B a, a*). In diesen beiden neuen Scheitelzellen wird hierauf je eine konkave Querwand gebildet, auf welche andere entsprechende Querwände scheitelwärts folgen, worauf beide Gabelzweige sich vorzuwölben beginnen. — Bei anderen bandartigen Algen und ähnlich gestalteten Lebermoosen, wie Metzgeria und Aneura (84), erhält die Scheitelzelle eine keilförmige Gestalt (Fig. 162) und wird dann auch als zweischneidige Scheitelzelle bezeichnet. Sie gibt durch aufeinander folgende, sich abwechselnd schneidende Scheidewände nach zwei Seiten hin Segmente ab, die, sich weiter teilend, den Pflanzenkörper aufbauen. Die scheinbar rein gabelige Verzweigung der mit solchem Vegetationspunkt versehenen Lebermoose ist auf die frühzeitige Anlage neuer Scheitelzellen aus der randständigen Hälfte junger Segmente (Fig. 162 bei *b*) zurückzuführen. — Bei den aufrecht wachsenden, radiär gebauten Sprossen der Laubmoose,

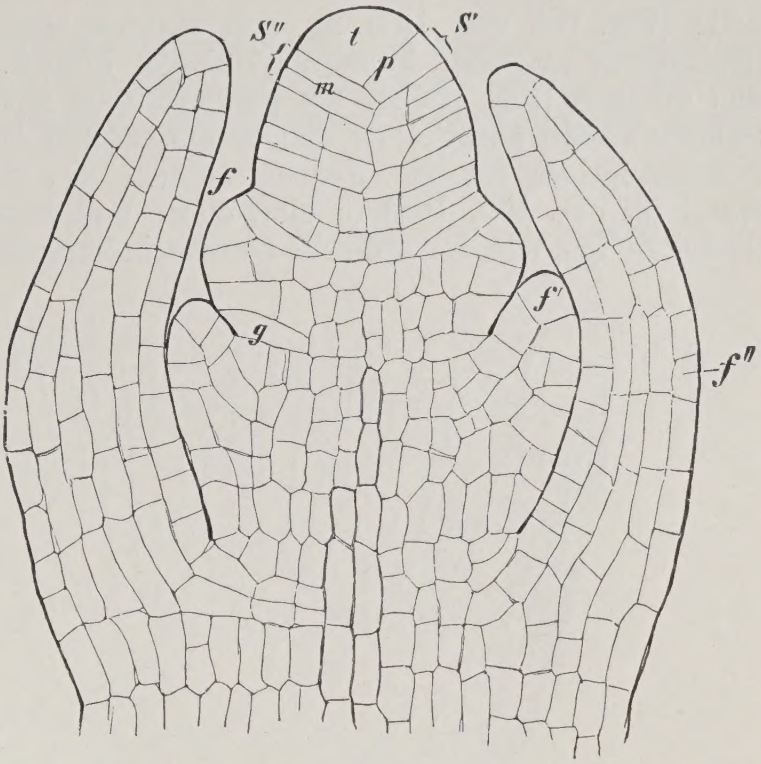


Fig. 163. Medianer Längsschnitt durch den Vegetationskegel von Equisetum arvense. Die Erklärung der Buchstaben im Text. Vergr. 240.

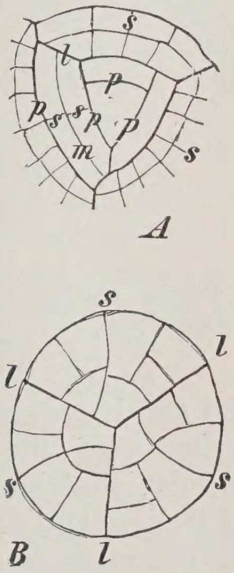


Fig. 164. *A* Scheitelansicht des Vegetationspunktes von Equisetum arvense, *B* optischer Durchschnitt desselben Vegetationskegels unter der Scheitelzelle. *l* Seitenwände der Segmente. Die Erklärung der übrigen Buchstaben im Text. Vergr. 240.

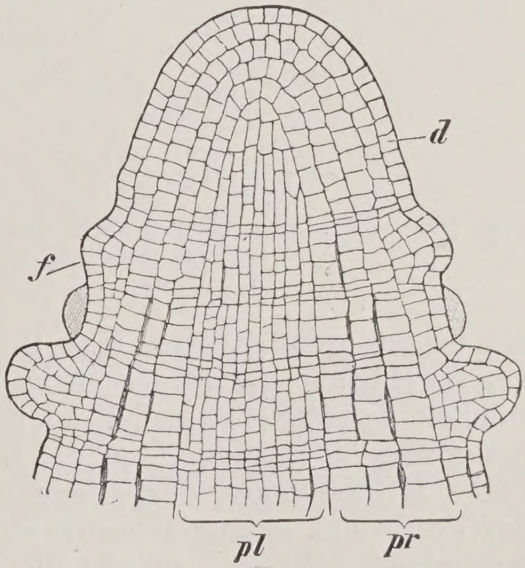


Fig. 165. Medianer Längsschnitt durch den Vegetationskegel von Hippuris vulgaris. *d* Dermatogen, *pr* Periblem, *pl* Plerom, *f* Blattanlagen. Vergr. 240.

der meisten Farne und der Schachtelhalme pflegt die Scheitelzelle die Gestalt einer dreiflächig zugespitzten Pyramide (85) mit vorgewölbter Grund-

fläche zu besitzen und wird dann auch als dreiseitig pyramidale Scheitelzelle bezeichnet. Sie nimmt den Scheitel des konischen Vegetationskegels ein, wie er für die höher organisierten Gewächse charakteristisch ist. Die Scheitelzelle (Fig. 163 und 164) an den Hauptsprossen des Ackerschachtelhalmes (Equisetum arvense) kann als Beispiel dienen. Sie erscheint vom Scheitel aus gesehen (Fig. 164 *A*) als gleichseitiges Dreieck, in welchem die neuen Scheidewände parallel zu den Hauptwänden (*p*) angelegt werden und einer Schraubenlinie folgen. Jedes Segment (*S'*, *S''*) wird durch eine Scheidewand (*m* Fig. 163, 164) in eine obere und untere Hälfte zerlegt, dann jede dieser Zellen, wie der optische Durchschnitt unter der Scheitelzelle (Fig. 164 *B*)

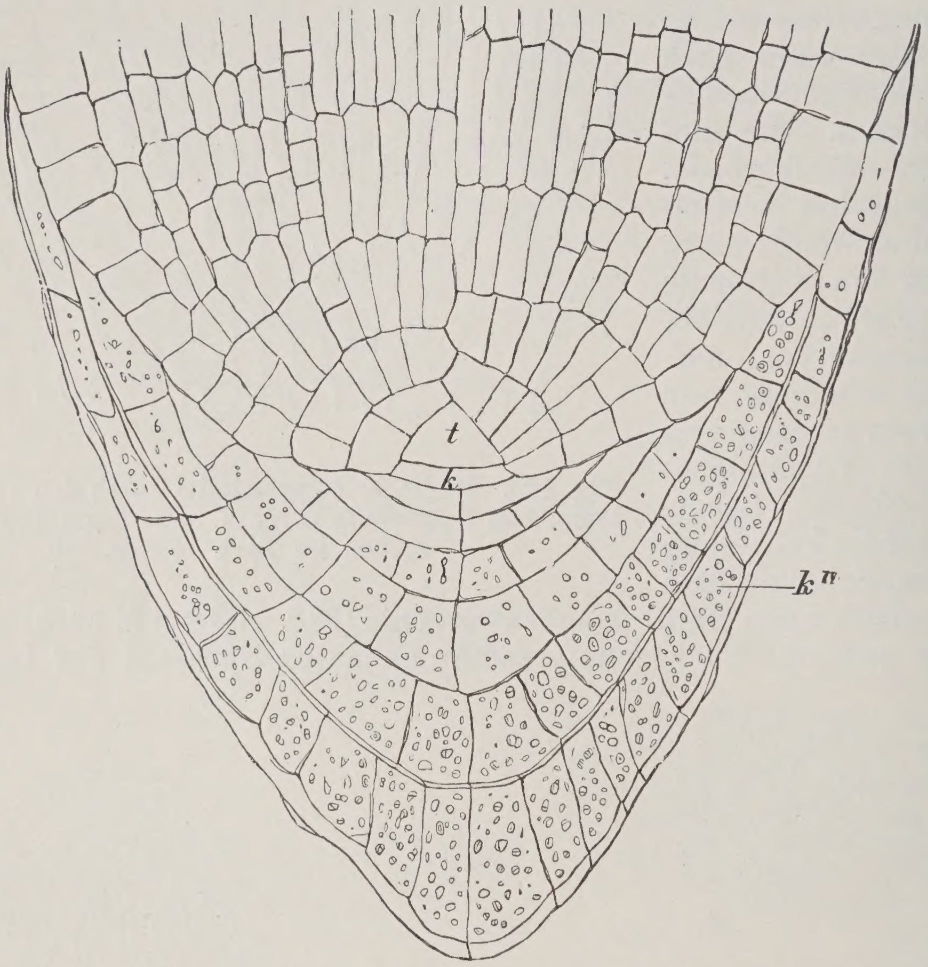


Fig. 166. Medianer Längsschnitt durch die Wurzel von Pteris cretica. *t* Scheitelzelle, *k* Haubeninitiale, k^n Wurzelhaube. Vergr. 240.

am besten zeigt, durch eine Sextantenwand (*s*) in zwei nebeneinander liegende Hälften geteilt. — Alle Wände, welche eine der Oberfläche eines solchen Vegetationskegels, oder anderen Pflanzenteils, gleichsinnige Krümmung zeigen, werden als perikline Wände, oder Periklinen, alle Wände, deren Krümmungen derjenigen der Oberfläche des Pflanzenteils, sowie auch der Periklinen entgegengesetzt sind, als antikline Wände oder Antiklinen bezeichnet. Wände, welche die Wachstumsachse in sich aufnehmen und die Oberfläche des Pflanzenteils rechtwinklig treffen, heißen radial. — Aus dem Vegetationskegel von Equisetum arvense sieht man in einiger Entfernung von der Scheitelzelle den ersten Blattwirtel (*f*) sich erheben, der als kreisförmiger Wall in seinem ganzen Umfange, mit keilförmigen Randzellen, die abwechselnd nach innen und außen Segmente abgeben, wächst. Weiter abwärts folgen die nächstälteren Blattwirtel (*f'* und *f''*) aufeinander. In der

Achsel des zweiten Blattwirtels ist eine der für die Seitensprosse bestimmten Initialzellen (*g*), die zu einer dreiflächig zugespitzten Scheitelzelle später wird, zu erkennen.

Schon bei den an der Spitze der Pteridophyten stehenden Lycopodineen geht die Scheitelzelle am Vegetationskegel des Stammes verloren, und bei den Phanerogamen kommt schließlich eine Anordnung der Zellen im Vegetationskegel zu stande, wie sie durch die Fig. 165, für Hippuris vulgaris, veranschaulicht wird. Wir sehen übereinander gelagerte mantelförmige Zellschichten, in welchen die Scheidewände, wie das SACHS [86] erkannte, eine Schar konfokaler Parabeln bilden. Die äußerste Zellschicht, welche den Vegetationskegel deckt und als einfache Zellschicht auch die sich vorwölbenden Blattanlagen überzieht, wird als Dermatogen (*d*) bezeichnet [87]; die Zellen, mit welchen der innere Gewebekegel, der Centralcylinder, abschließt, als Plerom (*pl*); die zwischen beiden gelegenen Zellschichten als Periblem (*pr*). Deutlich tritt uns in dieser Figur auch die von SACHS zuerst hervorgehobene rechtwinklige Schneidung der Scheidewände entgegen. Die rechtwinklig die Oberfläche treffenden Antiklinen bilden eine Schar orthogonaler Trajektorien für die gleichsinnig mit der Oberfläche gekrümmten Periklinen.

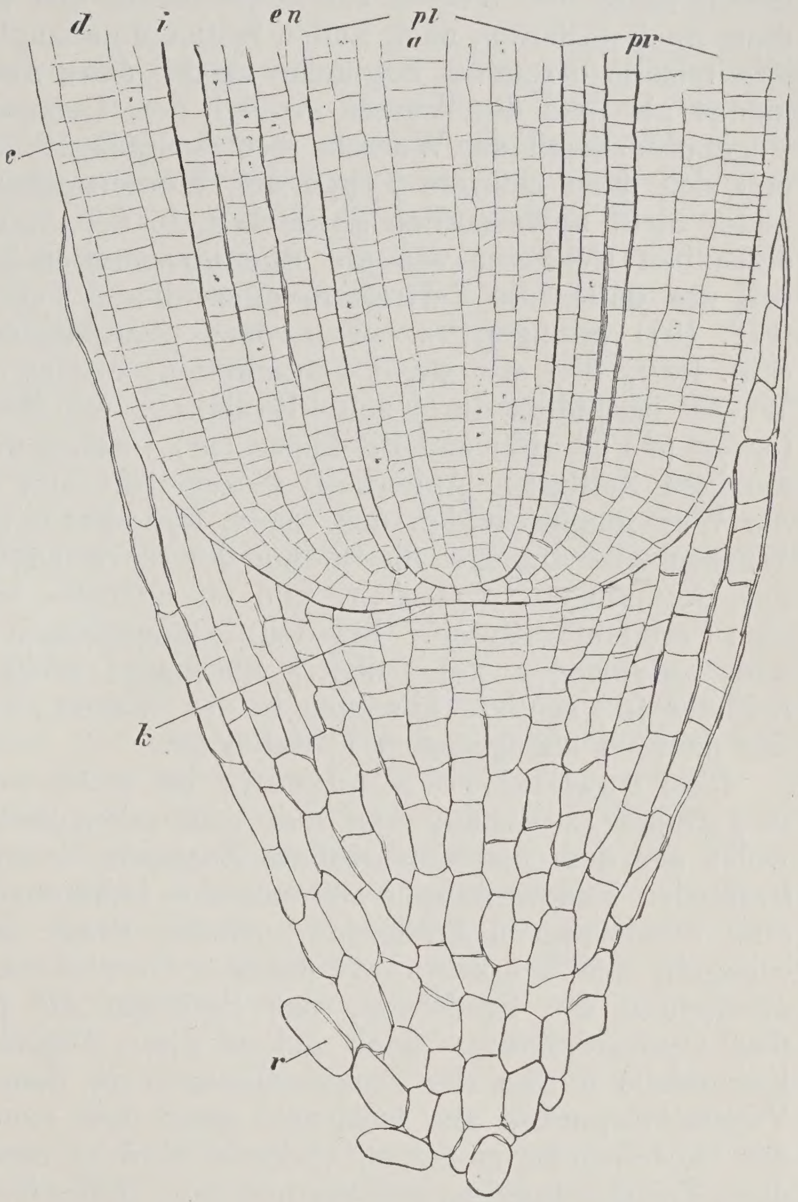


Fig. 167. Medianer Längsschnitt durch die Wurzelspitze der Gerste (Hordeum vulgare). *k* Kalyptrogen, *d* Dermatogen, *e* verdickte Außenwand desselben, *pr* Periblem, *pl* Plerom, *en* Endodermis, *i* mit Luft sich füllende Intercellularen, *a* Zellreihe, welche das centrale Gefäß bildet, *r* abgestoßene Zellen der Wurzelhaube. Vergr. 180.

Während SACHS die rechtwinklige Schneidung zum obersten Prinzip des Verlaufs der Scheidewände erhebt, suchen ERRERA und BERTHOLD [88] nachzuweisen, daß die Krümmung und der Ansatz der Scheidewände denselben Gesetzen folge wie bei gewichtslosen Flüssigkeitslamellen. Die Zellmembran habe im Augenblick ihrer Enstehung das Bestreben, diejenige Gestaltung anzunehmen, wie eine gewichtslose Flüssigkeitslamelle (etwa aus Seifenwasser) sie unter denselben Bedingungen annehmen würde.

Die Wurzeln, welche zum ersten Mal bei den Pteridophyten auftreten,

wachsen dort zunächst mit einer dreiseitig pyramidalen Scheitelzelle([89]) (*t* Fig. 166). Außer den Segmenten, welche diese Scheitelzelle nach dem Innern des Wurzelkörpers abgibt, bildet sie solche auch nach außen (*k*). Die nach außen erzeugten Segmente sind kappenförmig, sie bauen, indem sie sich weiter teilen, die Wurzelhaube auf. — Nach den Untersuchungen von Rostowzew([89a]) soll bei jenen Farnen (S. 39), deren Wurzel einen terminalen Sproß zu bilden vermag, die dreiseitig pyramidale Scheitelzelle der Wurzel zur Scheitelzelle des neuen Sprosses werden und dann auch aufhören, nach außen Segmente abzugliedern. Die von der Sproßscheitelzelle erzeugten Segmente zeigen dann auch einen anderen Teilungsmodus als jene der Wurzel. — Bei den Lycopodineen verlieren auch die Vegetationskegel der Wurzeln ihre Scheitelzelle; bei den Phanerogamen bilden sich dann mehrere Typen des Wurzelwachstums aus, die zwar voneinander nicht unwesentlich abweichen, in der Anordnung ihrer Elemente aber denselben Gesetzen wie die Stammvegetationskegel folgen. Als Beispiel soll uns daher die Vertreterin eines dieser Typen, eine Gramineen-Wurzel (Fig. 167) genügen([90]). Von dem phanerogamen Stammvegetationskegel (Fig. 165), den wir zuvor betrachteten, weicht der Vegetationskegel dieser Wurzel besonders durch seine Haube ab. Die Mantelschichten seines Dermatogens (*d* Fig. 167) und Periblems (*pr*) vereinigen sich am Scheitel zu einer einzigen Zelllage. Außerhalb dieser liegt hier diejenige Zelllage, welche die Wurzelhaube bildet, das sogen. Kalyptrogen (*k*). Bei vielen anderen Wurzeln wird hingegen die Bildung der Wurzelhaube durch perikline Teilungen des Dermatogens vollzogen, und ist letzteres seinerseits auch am Scheitel vom Periblem getrennt. Bei den Gymnospermen sind Periblem, Dermatogen und Kalyptrogen am Scheitel überhaupt nicht gesondert. Der Pleromcylinder (*pl*) schließt hingegen in der Wurzel, so wie im Stamm, fast stets mit deutlich abgegrenzten Initialen ab.

Eine qualitative Sonderung im embryonalen Gewebe vollzieht sich in geringer Entfernung von den Vegetationspunkten. Dort tritt dieses Gewebe aus dem meristematischen Zustande bereits heraus, um die, dem betreffenden Pflanzenkörper zukommende Differenzierung einzugehen. Bei den eine Sonderung in Epidermis, primäre Rinde und Centralcylinder in ihren Stengeln und Wurzeln aufweisenden Gewächsen bildet das Dermatogen im allemeinen die Epidermis, das Periblem die primäre Rinde, das Plerom den Centralcylinder; doch gelten diese Beziehungen nicht ausnahmslos. Keinesfalls dürfen die Zellanordnungen in dem embryonalen Gewebe der Vegetationspunkte als Ausdruck einer dort schon vorhandenen Sonderung der Gewebeanlagen gelten, vielmehr sind es mechanische Momente, welche diese Zellanordnungen dort bestimmen. — Jedes Gefäßbündel muß das Periblem durchsetzen, um in ein Blatt zu gelangen. Das Periblem ist somit befähigt, nicht allein die primäre Rinde, sondern auch Gefäßbündelteile nebst den sie begleitenden Geweben des Centralcylinders zu erzeugen. Die Termini Dermatogen, Periblem und Plerom sollen somit nur die kurze Bezeichnung bestimmter Zellenschichten des Vegetationskegels erleichtern, nicht aber das Vorhandensein distinkter Gewebebildner, Histogene, wie man sich ausgedrückt hatte, dort bedeuten. Die äußere Zellschicht, aus welcher die Epidermis hervorgeht, pflegt einschichtig zu bleiben. Die Anlagen für die Gefäßbündel beginnen sich alsbald als procambiale Stränge im Centralcylinder zu sondern. In den Wurzeln wird aus der innersten Rindenschicht frühzeitig die Endodermis erzeugt.

An den Vegetationskegeln der mit einer Scheitelzelle wachsenden Sprosse werden neue Blatt- und Sproßanlagen aus einzelnen peripheri-

schen Zellen oder Zellgruppen angelegt (Fig. 163). Nicht nur die neuen Sprosse erhalten dabei eine Scheitelzelle, auch die Blattanlagen beginnen meist ihre Entwicklung mit einer solchen. Weiterhin büßen sie ihre Scheitelzelle meist ein, um ihre Ausbildung durch Randwachstum zu vollenden.

An den Farnblättern, die terminale Sproßanlagen zu bilden vermögen (S. 25), hat GÖBEL([90a]) den direkten Übergang der zweischneidigen Scheitelzelle der Blattspitze, durch Einschaltung einer entsprechend orientierten Wand, in eine dreiseitig pyramidale, welche die Scheitelzelle der neuen Sproßanlage wird, beobachtet.

Die ohne Scheitelzelle wachsenden Sprosse (Fig. 17, 165) bilden neue Blatt- und Sproßanlagen in Gestalt vielzelliger Höcker (Fig. 165). Die Anlage solcher Höcker pflegt durch perikline Zellteilungen in dem Periblem eingeleitet zu werden, das Dermatogen aber nur rechtwinklig zur Oberfläche sich zu teilen. Werden die Vegetationspunkte für die neuen Sprosse erst in größerer Entfernung vom Vegetationspunkte des Muttersprosses angelegt, so bleibt embryonales Gewebe für ihre Bildung an jenen Orten aufgespart. An austreibenden Sprossen unserer Sträucher und Bäume im Frühjahr kann die Anlage der Knospen bis auf die Achsel des acht-, ja selbst zehntjüngsten Blattes verschoben werden([91]). Sie erfolgt dann an Orten, in deren Umkreis die Gewebedifferenzierung schon begonnen hat.

Der Vegetationskegel der sich rein dichotomisch verzweigenden Sprosse (vgl. S. 15) vermehrt zunächst in Richtung der künftigen Gabelungsebene die Zahl seiner Zellen, um sich hierauf in zwei Vegetationspunkte zu sondern.

Sehen wir von den Wurzeln jener Pteridophyten ab, die sich dichotomisch, ähnlich wie ihr Stamm verzweigen (vgl. S. 38), so ist die normale Verzweigung aller andern Wurzeln, sowohl der mit, wie der ohne Scheitelzelle wachsenden, akropetal und stellt sich erst in merklicher Entfernung vom Vegetationspunkt der Mutterwurzel ein, an Orten, an welchen die Gewebedifferenzierung bereits vollendet ist. Das Gewebe, welches die neuen Wurzeln bildet, ist bei den Phanerogamen der Pericykel, bei den Pteridophyten die innerste Rindenschicht. Die Seitenwurzeln haben somit, um nach außen zu treten, die ganze Dicke der primären Rinde ihrer Mutterwurzel zu durchsetzen. Sie entstehen entweder vor den Vasalsträngen der Mutterwurzel, oder vor den Zwischenräumen, welche Vasal- und Cribralstränge trennen. Die Zahl der Reihen, welche die Seitenwurzeln an der Mutterwurzel bilden, ist demgemäß, wie VAN TIEGHEM([92]) zeigte, entweder gleich der Zahl der Vasalstränge, oder doppelt so groß wie diese. Da der Verlauf der Gefäßbündelstränge in den Wurzeln ein gerader ist, so stehen auch die Seitenwurzeln in geraden Reihen. Der seitliche Abstand dieser Reihen ist gleich groß, wenn die Seitenwurzeln vor den Gefäßsträngen entspringen; je zwei Reihen sind einander genähert, wenn die Seitenwurzeln rechts und links von jedem Gefäßstrang stehen.

Indem eine vielzellige Pflanze ihre Entwicklung aus der Spore oder dem befruchteten Ei mit einem einzelligen Zustande beginnt, dann in einen mehrzelligen und einen vielzelligen Zustand übergeht und allmählich die ihr zukommende Gewebedifferenzierung erlangt, wiederholt sie in ihrer Ontogenie ihre Phylogenie. Daher es auch zu unserer Aufgabe gehören wird, im speziellen Teile die Ontogenie sowohl des ganzen Pflanzenkörpers, als auch seiner einzelnen Glieder, in den verschiedenen Abteilungen des Pflanzenreichs zu verfolgen. Der Gang der inneren ontogenetischen Ausgestaltung hat freilich, im Verhältnis zu seiner phylogenetischen Entstehung, vielfach tiefgreifende Änderungen erfahren. Doch weist manches

darauf hin, daß diese Änderungen oft geringer waren, als diejenigen, welche die Ontogenie der äußeren Gestaltung gleichzeitig erfuhr. So wird die Ontogenie der inneren Differenzierung oft wichtige Anknüpfungspunkte für die Beurteilung verwandtschaftlicher Beziehungen abgeben. Auch von der inneren Differenzierung läßt sich im allgemeinen sagen, daß jeder Zustand derselben um so allgemeinere Bedeutung beansprucht, je früher er in der embryonalen Entwicklung am Keim und je näher er dem Vegetationspunkt, der die embryonale Entwicklung an der erstarkten Pflanze fortsetzt, sich einstellt. Dann pflegt er auch einem größeren Kreis von Organismen gemeinsam zu sein. Umgekehrt ist ein Merkmal um so bezeichnender für die engere Verwandtschaft, je später es in der ontogenetischen Entwicklung in die Erscheinung tritt.

Bildungsabweichungen (93).

Vertreter der nämlichen Pflanzenart gleichen einander nicht vollständig. Ein jedes Individuum zeigt bestimmte, ihm nur zukommende Merkmale, durch welche es sich von den anderen Individuen derselben Species unterscheidet. Einzelne dieser Merkmale können auf Atavismus oder Rückschlag beruhen, d. h. eine Rückkehr zu bestimmten Eigenschaften der Voreltern bedeuten. Die meisten individuellen Abweichungen gehören aber in das Gebiet der sogen. fluktuierenden Variationen. Diese finden fortdauernd im Entwicklungsgang jeder Species statt und lassen sich gewissermaßen mit dem Ausschlagen eines Pendels aus seiner Gleichgewichtslage vergleichen. Außer den fluktuierenden Variationen gibt es aber eine fortschreitende Veränderung der Arten, die Hugo de Vries (94) als Mutation bezeichnet. Diese Änderung pflegt durch einen hohen Grad von Vererbbarkeit ausgezeichnet zu sein. — Bei unvermittelten Veränderungen, die so stark sind, daß sie das Individuum ganz auffällig von dem Typus der Art entfernen, pflegt man von Mißbildungen zu sprechen. Ziehen diese Veränderungen Funktionsstörungen nach sich, so werden sie als krankhaft bezeichnet. Die Veranlassungen zu Variationen und Mutationen bleiben uns meist verborgen, sie scheinen vom Organismus selbst auszugehen und wir führen sie auf innere Ursachen zurück. Solche können auch eine Mißbildung bewirken. In anderem Falle gelingt es uns die Veränderungen, die der Organismus aufweist, mit »äußeren« Ursachen in Verbindung zu bringen. Aus inneren Ursachen stellen sich beispielsweise die sogen. Knospenvariationen bei den Pflanzen ein, welche eine abweichende Ausbildung einzelner Sprosse veranlassen. Von solchen Knospenvariationen rühren im besondern alle die geschlitzt-blätterigen Formen der Gewächse her, die in unseren Gärten gezogen werden. Aus inneren Ursachen ändert sich in manchen Fällen die Zahl der Glieder in einem Blüten- oder Laubblattquirl und kommen solche Pflanzen wie etwa eine Paris quadrifolia zu stande, die sechsgliederig statt viergliederig in Laub und Blüte ist. Unter den äußeren Ursachen, welche auffällige Mißbildungen veranlassen, sind besonders die Einflüsse lehrreich, die parasitische Organismen auf die Entwicklung einzelner Pflanzenteile ausüben. Die von dem Rostpilz (Aecidum Euphorbiae) befallene Cypressenwolfsmilch (Euphorbia Cyparissias) wird unfruchtbar, bleibt unverzweigt, erhält kürzere und breitere Blätter und erscheint in ihrem ganzen Aussehen so verändert, daß man sie kaum wieder erkennt. Blattläuse können Vergrünungen der befallenen Blütensprosse veranlassen, wobei statt Blumenblätter laubblattähnliche Gebilde entstehen. Besonders eigenartig sind die Gallen oder Cecidien, deren Bildung durch Pilze und vornehmlich durch

Tiere, Würmer und andere Arthropoden bedingt wird. Der Eingriff dieser Organismen in die normale Entwicklung der befallenen Pflanze ist mehr oder weniger bedeutend, je nachdem er die embryonale Substanz der Vegetationspunkte, oder ein schon angelegtes, jedoch noch in der Ausbildung begriffenes, oder endlich ein schon fertiges Glied des Pflanzenkörpers trifft. Die Larve der Gallmückenart Cecidomyia rosaria lebt über dem Vegetationspunkt der befallenen Weidensprosse. Sie veranlaßt demgemäß die Verbildung der ganzen Sprosse, die Entstehung jener Gallen, die als Weidenrosen bekannt sind und Blattschöpfe aus stark veränderten Blättern und gestauchten Achsenteilen darstellen. Verschiedene Fliegen (Diptera) legen ihre Eier in noch unfertige Blätter und regen um so stärkere Anschwellungen und Rollungen an, je jünger der Zustand war, in dem sie jene befielen. Unverändert in seiner Gesamtausbildung bleibt hingegen das Blatt der Eiche, das erst im ausgewachsenen Zustande von Gallwespen der Gattung Cynips angestochen wird. Das von der Mutterwespe eingeführte Gift und die aus dem Ei sich entwickelnde Larve veranlassen hier nur eine lokale Wucherung des Blattgewebes, die zur Bildung der kugeligen gelben oder roten, an den Seitenrippen der Blattunterseite sitzenden Gallen führt. Der auf die befallene Pflanze sich geltend machende Reiz bewirkt, je nach der Art des Erregers, die Entstehung verschieden geformter Gallen, aus deren Gestalt man vielfach den Erreger erkennen kann.

Auch für solche Mißbildungen, welche die Pflanze aus innern Ursachen erzeugte, kann gelten, daß sie um so extremer ausfallen, je früher sie sich einstellen. Wird bereits die embryonale Substanz eines Vegetationspunktes von ihrem normalen Entwicklungsgang abgelenkt, so kann ein ganz anderes Gebilde an Stelle des erwarteten treten. Oder es bilden sich Mittelformen von mehr oder weniger monströser Gestalt aus. Die embryonale Substanz der Vegetationspunkte ist noch zur unmittelbaren Bildung aller Anlagen befähigt, welche den Formenkreis der Species umfassen, und so mag an Stelle einer Blüte ein vegetativer Sproß entstehen, ja selbst der Vegetationspunkt einer Wurzel sich unmittelbar als Sproß weiter entwickeln. Hingegen werden schon angelegte Blätter in ihrer Veränderung sich vornehmlich innerhalb des Formenkreises der Blattmetamorphose halten, Blumenblätter beispielsweise an Stelle von Staubblättern oder Fruchtblättern sich bilden. Je später der ändernde Einfluß auf die Anlage sich geltend macht, um so unvollkommener wird ihre Umwandlung sein. Daher alle die mehr oder weniger verunstalteten Mittelformen, welche zwischen zwei Gebilden mit größerer oder geringerer Annäherung an eines von ihnen sich einstellen. Wenn somit verschiedene Glieder des Pflanzenkörpers bei einem abnormalen Entwicklungsvorgang einander vertreten, dann auch durch Mittelformen verbunden erscheinen, so ist daraus ein Schluß auf ihren phylogenetischen Zusammenhang nicht zu ziehen. *Mißbildungen sind somit nur in den seltensten Fällen für morphologische Schlußfolgerungen zu verwenden.* Als Rückschlagserscheinungen hätten sie diesen Wert, doch das sind sie sicherlich nur ausnahmsweise.

Alle abnormalen Gestaltungen und Funktionen der Pflanzen bilden den Gegenstand der *Phytopathologie*. Soweit die pathologischen Gestaltungen allein in Betracht kommen, hat sich die pathologische Morphologie mit ihnen zu befassen. Mißbildungen der äußeren Gestalt werden noch besonders in der *Phytoteratologie* behandelt. Die pathologischen Änderungen der Form und des Inhalts pflanzlicher Zellen und Gewebe behandelt man in der pathologischen Pflanzenanatomie.

Die Ätiologie der abnormalen pflanzlichen Gewebe lehrt uns, daß äußere Bedingungen der verschiedensten Art ihre Entstehung veranlassen können. Es herrschen aber unter ihnen die Wirkungen der Verwundung und der Besiedlung durch Parasiten vor.

Abnormale Zellen können sich von den normalen besonders durch ihren Inhalt oder ihre Wandverdickung unterscheiden. Diese Veränderung schlägt Ernst Küster vor auch bei Pflanzen als Metaplasie zu bezeichnen. Handelt es sich um ungewöhnliche Größenzunahme der Zellen, so liegt Hypertrophie vor. Haben dabei sonst nicht erfolgende Zellteilungen stattgefunden, so gibt das Hyperplasien. Das abnorm erzeugte Gewebe gleicht in diesen Fällen entweder jenem, aus dem es hervorging, oder es weicht von ihm mehr oder weniger ab. Beispiele für solche Verschiedenheiten bieten die von uns S. 123 bereits behandelten Gewebebildungen bei der Wundenheilung, außerdem die zuvor erwähnten Gallen. Im allgemeinen zeichnen sich die Gewebe dieser letzteren weniger durch die Größe, als durch die Zahl ihrer Zellen und die mannigfache Ausbildung, welche diese erfahren können, aus. Auch pflegen die Gallengewebe oft eine auffällige Anhäufung von Eiweißkörpern und Kohlehydraten aufzuweisen. — In vielen Fällen macht ein verbildeter Pflanzenteil den Eindruck, als wenn seine Entstehung durch eine Hemmung im Entwicklungsvorgang, durch Hypoplasie, beeinträchtigt worden wäre. Dann liegen Zwergbildungen vor und mangelhafte Gewebesonderungen, aus welchen sich auch eine entsprechende Herabsetzung der Leistungen ergibt. In allen Fällen, wo die Zellen eines Gewebes ihre normalen Eigenschaften nicht mehr aufweisen, handelt es sich um Metaplasien. Diese können früher oder später regressiven Charakter annehmen und zu Degenerationen und Nekrose führen.

Zweite Abteilung.

Physiologie.

Die Pflanze ist wie das Tier ein lebendes Wesen. Meist aus winzigen und höchst einfachen Anfängen entstehend, aus inneren Ursachen sich vergrößernd und in bestimmter Weise sich gestaltend, vollendet sie einen angeerbten Entwicklungsgang. Umgeben von einer Welt, die stofflich sehr verschieden ist vom eigenen Körper, erzeugt sie ihre besonderen Baustoffe aus den ihr gebotenen Rohstoffen. Sie ist dabei befähigt, die zu ihrem Leben günstigste Lage und Richtung ihrer Körperteile durch selbständige Bewegungen aufzusuchen. Wie alles Lebendige ist auch der Pflanzenkörper mehr oder weniger rasch vergänglich, aber ungeachtet der begrenzten Lebensdauer und Zahl der Individuen wird das Fortbestehen und die Ausbreitung der Arten ermöglicht durch Erzeugung gleicher Nachkommen.

Ernährung, selbsttätig gestaltendes Wachstum, Bewegungsvermögen und Fortpflanzung sind neben der Atmung die auffälligsten Erscheinungen, welche die Pflanze als lebendiges Wesen kennzeichnen und von leblosen Körpern scharf trennen.

Wie das Leben der einfachsten bestehenden Pflanzenarten zeigt, ist ein einzelliges Wesen zu allen diesen Lebensäußerungen befähigt. Bei Pflanzen jedoch, welche sich aus vielen Hunderten oder Tausenden von Zellen dreidimensional zusammensetzen, können die einzelnen Zellen schon aus räumlichen Gründen unmöglich in einem gleichartigen Verhältnis zur Außenwelt stehen. Die Zellen im Innern des Zellenkörpers müssen da unter ganz andern Verhältnissen leben als die, welche mit der Außenwelt in unmittelbarer Berührung und in direktem Austausch stehen. Demgemäß müssen die verschieden gelagerten Elemente sich auf eine verschiedene Lebensweise einrichten; sie müssen in verschiedener Art tätig sein oder, wie man sagt, sich differenzieren.

Die derartig notwendig gewordene Arbeitsteilung hat zur Ausbildung äußerer Organe und innerer Strukturen geführt, welche in überraschender Weise ihre Aufgaben im Dienste der ganzen Pflanze zu lösen im stande sind. Je nach den Verwandtschaftskreisen sind die Einrichtungen zwar sowohl in der Form als auch in der Wirkungsweise etwas verschieden; bei allen Pflanzen haben sich aber diejenigen Organe, welchen gleiche Verrichtungen zukommen, den leistungsfähigsten Formen so genähert, daß beispielsweise Wurzeln und Blätter der allerverschiedensten Pflanzen ähnliche Grundformen zeigen. Das beweisen schon die ganz allgemeinen Bezeichnungen „Blatt“, „Wurzel“, „Stamm“ und „Blüte“, deren einheitliche Bedeutung noch unbefangener im Volksmunde zum Ausdruck kommt als in der botanischen Fachsprache, welche diese Begriffe aus formalen Gründen nachträglich schärfer umgrenzt und eingeschränkt hat.

Das ähnliche Aussehen und der ähnliche innere Bau gleichnamiger Teile deuten aber auf Funktionen und Aufgaben, welche den Organen gemeinsam sind; die durchgängigen Abweichungen, die sich dabei in Gestalt und Ausbau zwischen ungleichnamigen Organen — wie Blatt und Wurzel — geltend machen, weisen andererseits auf eine verschiedene spezifische Wirksamkeit derselben für die Pflanze hin. Es liegt also schon in der verschiedenen morphologischen und anatomischen Ausbildung ein unverkennbarer Hinweis, daß die Organe einer Funktion wegen da sind und daß sie nicht zufällige Ausgestaltungen des Pflanzenkörpers darstellen.

Die Eigenschaften und Verrichtungen der Organe bilden den Gegenstand für das physiologische Studium der Pflanzen. Es leuchtet aber ein, daß die Physiologie nur auf der Grundlage der Kenntnis vom äußeren und inneren Bau der Pflanzen verständlich wird, ebenso wie der Gang und die Leistungen einer Maschine erst durch die Bekanntschaft mit ihrer Konstruktion erklärlich werden. Die vornehmlichste und zuverlässigste Quelle physiologischer Erkenntnis ist aber unter allen Umständen das Experiment.

Es liegt in der Natur der Sache, daß die Physiologie zunächst die übereinstimmenden Momente in der Mannigfaltigkeit der Einzelerscheinungen aufsuchen muß, welche eben dadurch wesentliche funktionelle Bedeutung verraten. Umgekehrt muß die Systematik gerade die Abweichungen, also die Stammeseigenheiten verwerten, welche sich daneben geltend machen, weil gerade sie von der größten Wichtigkeit für die Erkenntnis der Verwandtschaften sind. So genügt es für das physiologische Verständnis der Blüten zu wissen, daß sie die Organe der sexuellen Fortpflanzung bei den höheren Pflanzen sind; es genügt zu wissen, daß die männlichen Zellen in Staubblättern ausgebildet werden, welche sich öffnen und die Pollenkörner frei legen; daß die weibliche Zelle, in Samenanlagen eingeschlossen, durch die irgendwie erreichte Vereinigung mit einer männlichen Zelle des Pollenschlauchs zum Embryo, also zu einer jungen Pflanze heranwächst. Diese wichtigen Tatsachen sind bei allen Blüten dieselben; verschieden ist nur deren besondere jeweilige Ausgestaltung.

In gewissem Sinne kommen spezielle Ausgestaltungen freilich auch physiologisch in Betracht, sofern sie nämlich besonderen Verrichtungen dienstbar gemacht sind, wie sie in den Beziehungen der Pflanze zu ihrer Umgebung zur Geltung kommen (Bestäubung, Samenverbreitung, Wasserökonomie usw.). Diese speziellere Seite der physiologischen Betrachtung pflegt man als die biologische oder ökologische zu bezeichnen und faßt ihr Studium unter die Begriffe der Biologie, oder — da dieses Wort auch die allgemeinere Bedeutung der Lehre von den Lebewesen überhaupt gewonnen hat — noch besser als Ökologie zusammen.

Physikalische und vitale Eigenschaften der Pflanzen. Allgemeine Lebensbedingungen.

Abgesehen von den mehr oder minder flüssigen Entwicklungsstadien einiger niederer Organismen, wie sie als Amöben und Plasmodien der Myxomyceten (S. 48) erwähnt wurden, haben wir es bei den Pflanzen, trotz des hohen Wassergehaltes, mit festen Körpern zu tun. Die physikalischen Eigenschaften der festen Körper im allgemeinen kommen demnach auch bei dem Pflanzenkörper zur Geltung. Schwere, Festigkeit, Elastizität, Leitungsfähigkeit für Licht, Wärme, Elektrizität usw., das sind Eigenschaften, welche der Pflanzenkörper mit anderen, auch den leblosen Körpern gemein hat. So wichtig diese Eigenschaften nun auch für das Bestehen und für das Leben der Pflanze zum Teil sind, so bedingen sie doch noch nicht das Leben selbst.

Die Lebenserscheinungen sind ausschließlich an das lebendige Protoplasma gebunden. Keine andere Substanz zeigt auch nur ähnliche merkwürdige und mannigfaltige Erscheinungen, die sich mit dem Leben vergleichen ließen. Da die Physik und die Chemie sich absichtlich darauf beschränkt haben, die Eigenschaften der leblosen Körper zu untersuchen, so wäre es natürlich ein fruchtloses Beginnen und ein Verkennen der Sachlage, die Lebenserscheinungen lediglich aus Befunden an leblosen Körpern, also aus sogenannten physikalischen und chemischen Gesetzen erklären zu wollen. Die physikalischen Eigenschaften der Luft, des Wassers, des Glases und einiger Metalle, die man bisher zu physikalischen Apparaten verwandt hat, können niemals Erscheinungen wie die Ernährung, die Atmung, das Wachstum, Reizbewegungen und Fortpflanzung erklären; es wäre eigentlich überflüssig dies hervorzuheben, wenn man nicht von Zeit zu Zeit in jenen Irrtum verfallen wäre, das ganze Leben aus bekannten physikalisch-chemischen Erscheinungen erklären zu wollen.

Die Lebenserscheinungen können nur an lebenden Wesen studiert und ergründet werden und zwar durch sorgfältige Beobachtungen und kritisch angestellte Versuche. Dabei bleibt natürlich stets festzustellen, inwieweit solche physikalische und chemische Eigenschaften, die allen Körpern jederzeit zukommen, bei den Lebenserscheinungen mitspielen und der Lebensführung dienstbar gemacht sind. Der Einblick in einfachere physikalische und chemische Vorgänge innerhalb des Organismus erscheint aber, obgleich er für die physiologische Erkenntnis nicht schwerer wiegt als die exakte Feststellung irgend einer vitalen Reaktionsfolge, deshalb besonders wünschenswert, weil es sich dabei um Erscheinungen handelt, mit denen wir hinsichtlich ihrer Ursache und Wirkung besser vertraut sind. Bei den eigentlichen Lebenserscheinungen ist das aber durchaus nicht der Fall. Es ist bei diesen von vornherein gar nicht abzusehen, welche Folgen eine bestimmte Einwirkung haben wird.

Setzt man das freie Ende eines biegsamen Stabes in horizontaler Lage dem Einfluß der Schwerkraft aus, so wird sich derselbe unter seinem Gewicht bis zu einem bestimmten Punkte abwärts biegen. Dasselbe tut jeder Pflanzenteil auch, und bei toten Pflanzenteilen, z. B. dürren Stengeln, bleibt es dabei. Haben wir zu dem Versuche jedoch einen lebendigen, wachsenden Stengel benutzt, dann zeigt sich in diesem eine Wirkung der Schwerkraft, welche im Vergleich zu ihrer rein physikalischen Wirkungsweise durchaus überrascht: Der wachsende Teil des Stengels krümmt sich und richtet sich durch eigene Tätigkeit wieder auf, er bewegt sich dem Zug der Schwere gerade entgegen. Macht man den Versuch mit einer Pfahlwurzel, so wird diese, unter Entfaltung von Kraftäußerungen, die ihr Eigengewicht erheblich übertreffen, sich senkrecht abwärts krümmen; ein Rhizom dagegen würde seine wachsende Spitze unter allen

Umständen wagerecht einstellen, wenn es durch sein Gewicht aus der Horizontalen gesunken wäre. Bei diesen drei Versuchen waren die physikalischen Bedingungen jedesmal die gleichen: Die Erdschwere wirkte auf einen horizontalen Pflanzenteil. Das Resultat fiel aber so verschieden wie nur möglich aus.

Die Erklärung für dieses auffällige Verhalten ist darin zu suchen, daß die Schwerkraft nicht bloß physikalisch auf die lebendige Substanz einwirkt, indem sie deren Gewicht veranlaßt, sondern außerdem noch in eigener Weise als ein Reiz, welcher innere Tätigkeiten des Pflanzenkörpers zur Auslösung bringt. In unseren Versuchen sind es die das Wachstum verursachenden Vorgänge und Kräfte, welche durch die Schwerkraft lokal gefördert oder gehemmt werden und so eine Wirkung hervorbringen, die mit ihrer bekannten physikalischen Wirkungsweise weder qualitativ noch quantitativ in einem erkennbaren Zusammenhang steht. Die lebendige Substanz wird von Reizwirkungen beherrscht; ihre eigenartige Reizbarkeit ermöglicht das, was wir Leben nennen.

Unter Reizbarkeit versteht man aber die uns im Einzelnen zwar unbekannte, jedoch sicher vorhandene kausale Verkettung zwischen einer gewissen Einwirkung und der eigenartigen lebendigen Rückwirkung des Organismus. Verschiedenartigkeit von Einwirkung und Rückwirkung liegt ja auch beim Gebrauche unserer Dampfmaschinen und Feuerwaffen vor. Der geringe Fingerdruck beim Abfeuern eines Geschützes steht mit den zerschmetternden Wirkungen des Geschosses ebensowenig in qualitativer und quantitativer Relation, wie die augenblickliche kleine Mühe des Hahnöffnens bei der Lokomotive mit der stundenlang dauernden Fortbewegung eines schweren Güterzuges. An einer ungeheizten Maschine ist die Arbeit des Hahnöffnens ohne Wirkung; nur durch die Auslösung der in dem Maschinenkessel vorhandenen Spannkräfte erhält dieser Eingriff die erwähnten großartigen Folgen. Bei unseren Apparaten kennen wir den inneren Zusammenhang zwischen der äußeren Einwirkung und deren Folgen; bei den Reizwirkungen des Protoplasmas kennen wir ihn nicht, denn die im Plasma sich abspielenden Auslösungen bleiben auch dem bestbewaffneten Auge unsichtbar. Wir haben aber trotzdem keine Veranlassung zu der Annahme, daß der innere Zusammenhang zwischen Reizursache und Reizwirkung in dem Plasma durch Vorgänge bewirkt würde, die der Materie sonst fremd wären und die sie erst unter dem Einfluß einer besonderen Kraft, der „Lebenskraft", entfalten könnte. Früher glaubte man einmal, nicht nur die Lebensäußerungen, sondern auch die Stoffbildung in den Lebewesen nur durch die Wirkung einer besonderen Lebenskraft erklären zu können. Dieser Anschauung haben aber schon die Fortschritte der Chemie teilweise den Boden entzogen (vgl. S. 5). Ganz abgesehen davon, daß die Lebensäußerungen die Annahme einer Lebenskraft heutzutage durchaus nicht verlangen, brächte es vielmehr die allergrößten Schwierigkeiten mit sich, die unendliche Mannigfaltigkeit der Lebenserscheinungen auf die Äußerung dieser einzigen „Kraft" zurückzuführen.

Wenn wir aber auch dazu kommen, eine besondere Lebenskraft aus der Physiologie auszuschließen und nur Wirkungen anzunehmen, die der Materie unter besonderen Umständen zukommen, so müssen wir doch der ganzen Eigenart der Lebenserscheinungen insofern Rechnung tragen, als wir eigentümliche innere Einrichtungen der lebendigen Substanz annehmen, die so beschaffen sind, daß sich gewisse Einwirkungen und Zustände mit bestimmten Lebensäußerungen irgendwie kausal verketten. Es sind also jene besonderen inneren Einrichtungen, welche das lebendige Protoplasma von den übrigen Körpern unterscheiden und welche auch die fundamentale Verschiedenheit zwischen lebendigem und totem Plasma bedingen. Dieser An-

nahme stehen aber keinerlei Bedenken entgegen, zumal schon einfachere chemische Körper, ja chemische Elemente, wie Schwefel, Phosphor u. a. in verschiedenen „Modifikationen" mit grundverschiedenen Eigenschaften auftreten können. Bei lebendigen Organismen haben wir es mit einer reizbaren oder lebendigen Modifikation der plasmatischen Substanz zu tun, und die Aufgabe der Physiologie besteht hauptsächlich darin, die Eigenschaften und Äußerungen dieser lebendigen Modifikation plasmatischer Substanzen zu erforschen.

Diese Eigenschaften und Äußerungen sind so eigenartig, daß sie eine tiefe Kluft zwischen der lebendigen und der gesamten übrigen Materie schaffen und daß wir uns keinerlei Vorstellung machen können, wie auf unserem Planeten die lebendige Substanz aus lebloser Materie entstanden sein könnte. Die Annahme einer Descendenz gestattet uns zwar, die Entstehung des Lebens auf der Erde in geologische Zeitalter zurückzuversetzen, von denen uns wohl Jahrmillionen trennen und von deren Charakter und Schöpfungsbedingungen wir keine Ahnung haben. Das aber können wir im Hinblick auf die Eigenschaften der lebendigen Substanz doch wohl behaupten: Die äußeren Lebensbedingungen können damals von den heute auf dem Erdballe herrschenden nicht grundsätzlich verschieden gewesen sein; denn es ist eine höchst merkwürdige Eigentümlichkeit der Lebewesen, daß ihre Lebenstätigkeit, ja ihre ganze Existenz, nur zwischen auffallend engen Grenzen kosmischer Einwirkungen möglich ist. Die Lebensfähigkeit des pflanzlichen Plasmas erhält sich nur innerhalb verhältnismäßig enger Temperaturgrenzen; in noch viel engeren Grenzen bewegt sich seine volle Lebenstätigkeit. Ein Zuviel von Licht vernichtet sein Leben wie ein Zuwenig von Wärme, und es genügen unwägbare Mengen von gewissen sogen. giftigen Stoffen, um in einem Augenblicke jenen geheimnisvollen Bau unwiederbringlich zu zertrümmern, in dem die Fähigkeit schlummert, unter günstigen Umständen ganze Welten zu bevölkern.

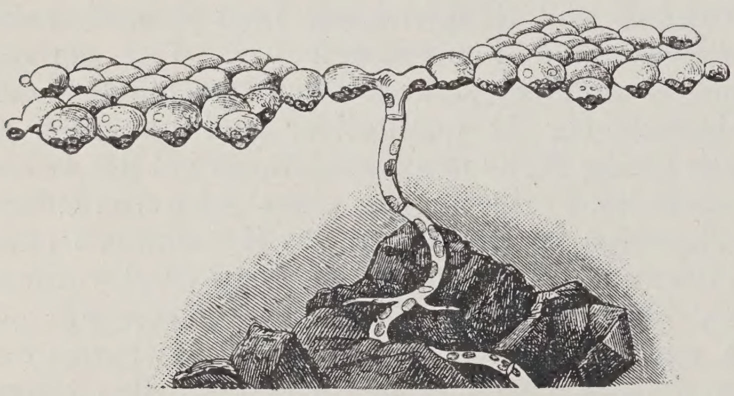


Fig. 168. Vorkeim von Schistostega osmundacea. Die linsenförmigen Zellen koncentrieren das spärliche Licht des Standortes auf die Chlorophyllkörper (vgl. S. 198).

Trägt die lebendige Pflanze nun auch vornehmlich in sich selbst die Bedingungen für die Art und Weise ihrer Lebensäußerungen, so ist sie doch auch durch enge Wechselbeziehungen mit ihrer Umgebung verknüpft und abhängig von deren Zustand. Die Außenwelt liefert nicht nur die stoffliche Grundlage für den Pflanzenkörper, sondern spendet auch in Form von Bewegungen, zumal in Licht- und Wärmeschwingungen, Energie, welche in mannigfachen Vorgängen im Getriebe des Lebens wieder nutzbar gemacht wird; die Einflüsse der Außenwelt wirken zudem als Reizursache, auf welche das pflanzliche Plasma ständig mit Lebensäußerungen reagiert. Diese äußeren Einwirkungen werden aber, wie erwähnt, nur bei bestimmter und eng begrenzter Intensität dem Leben nutzbar gemacht. Die untere Grenze für ihre Wirksamkeit bezeichnet man als das Minimum, die obere als das Maximum, und hebt denjenigen Intensitätsgrad als das Optimum noch besonders hervor, unter dessen Einwirkung eine bestimmte Lebenserscheinung ihren Höhepunkt erreicht. Für die verschiedenen Lebensvorgänge innerhalb einer

Pflanze und für verschiedene, zumal an abweichende Lebensverhältnisse gewöhnte Pflanzen sind diese sogenannten „Kardinalpunkte“ aber meist verschieden.

Bei der Pflanzenwelt kalter Klimate liegen die Kardinalpunkte der Temperatur naturgemäß durchschnittlich viel tiefer als bei den Bewohnern gemäßigter oder gar tropischer Regionen, so daß die geographische Verteilung der Pflanzen in erster Linie von der Lage dieser Kardinalpunkte abhängt. Die höchsten Kardinalpunkte besitzen aber nicht die Vertreter der tropischen Pflanzenwelt, sondern kleine Algen und Bakterien heißer Quellen, die in dem dampfenden Wasser von 70—80° C. (welches Hühnereiweiß alsbald gerinnen läßt) ihre seltenen Lebensbedingungen finden, während einzelne thermogene Bakterien selbsttätig ihre Temperatur bis auf 70° C. und mehr steigern.

Fig. 169. Bäume an der Seeküste Dänemarks. Links Prunus spinosa, rechts Crataegus oxyacantha, unter dem Einfluß des Seewindes in gleicher Weise mißgestaltet. (Nach WARMING.) Aus SCHIMPER, Pflanzen-Geographie.

Gewisse Pflanzen verlangen zu ihrem vollen Gedeihen das ungeschwächte Sonnenlicht; andere dagegen, die sogen. Schattenpflanzen, kommen nur im gedämpften Lichte des Waldschattens oder, wie das Leuchtmoos, im Dämmerschein von Klüften und Höhlen zu voller Entwicklung (Fig. 168). Das Lichtbedürfnis wechselt aber nicht nur bei verschiedenen Pflanzenarten und je nach Gewohnheit auch wieder individuell, sondern es kann sich das Optimum der Lichtwirkung bei demselben Einzelwesen mit der Entwicklung verschieben. Viele der tropischen Kulturpflanzen verlangen z. B. während ihrer Jugend Schatten und müssen daher durch besonders angepflanzte schattenspendende Bäume (Albizzia moluccana, A. stipulata u. a.) zunächst geschützt werden, während sie später die volle Tropensonne vertragen oder gar nötig haben.

Bei niederen Temperaturen, die um den Gefrierpunkt des Wassers liegen, tritt bei vielen Pflanzen eine Tötung durch Erfrieren ein. Empfindliche Pflanzen können aber schon erfrieren bei Temperaturen über 0° und lange bevor es in ihren Geweben zur Eisbildung kommt. Andere dagegen ertragen selbst die Eisbildung in ihrem Innern, die aber zunächst nicht in den Zellen selbst, sondern in den Intercellularräumen beginnt

und gradweise fortschreitet auf Kosten des sich mehr und mehr koncentrierenden Zellsaftes. Es gibt Pflanzen, die selbst aus völlig gefrorenem Zustande lebendig wieder auftauen, wie u. a. die Bewohner polarer und hochalpiner Regionen. Bemerkenswert ist aber die Widerstandskraft niederer Organismen gegen extreme Kältegrade. In den Versuchen PICTETS ertrugen Diatomeen längere Zeit eine Temperatur von — 200° C., und die verschiedensten Bakterien erwiesen sich nach den Angaben von MACFADYEN u. a. widerstandsfähig gegen eine 6 Monate lange Einwirkung von 200° und selbst von 250° Kälte, die mittels flüssiger Luft und flüssigen Wasserstoffs erreicht wurde(1).

Rascher Temperaturwechsel beim Auftauen wird von der Pflanze im allgemeinen besser ertragen, als ein häufiger Übergang zwischen Gefrieren und Auftauen. Demgemäß wird auch eine länger anhaltende strenge Kälte im allgemeinen besser überwunden, als eine geringere, die mit öfterem Auftauen abwechselt.

Soweit das vitale Reaktionsvermögen der Pflanze den rein physischen Einwirkungen entgegenarbeitet, bleibt es natürlich eine Frage der größeren Kraftentfaltung, ob diese oder jenes zur Herrschaft gelangen. Einer im Verhältnis zur Schwerkraft tausendfach verstärkten centrifugalen Beschleunigung gegenüber ist das pflanzliche Reaktionsvermögen ohnmächtig und das Bild Fig. 169 zeigt, in welchem Maße ständige starke Luftströmungen, wie z. B. scharfe Seewinde, die charakteristische Wuchsform von Bäumen gleichartig zu verändern und gänzlich zu verwischen vermögen(2).

I.

Die Festigung des Pflanzenkörpers.

Eine der wichtigsten und notwendigsten physikalischen Eigenschaften des Pflanzenkörpers ist seine Festigkeit, denn ohne Festigkeit ist keine bleibende Gestaltung möglich. Die Pflanzen, welche sich bei der zierlichsten Ausgestaltung und Gliederung ihrer Organe bis zu gewaltigen Höhen erheben und sich dabei in der Luft frei ausbreiten, sind aber ganz besonders auf die Festigung ihres Körpers angewiesen, weil es bei ihnen auf ein starres Festhalten der einmal gewonnenen Lage ankommt. Das Vermögen, nach gewaltsamen Störungen durch selbständige Bewegungen in die günstigste Lage zurückzukehren, ist bei einem Baum oder Strauch, ja schon bei erstarkenden Kräutern, auf die wachsenden Zweigspitzen beschränkt.

Welche Ansprüche an die Festigkeit und den Zusammenhalt der Teile bei Pflanzen gestellt werden, das leuchtet sofort ein, wenn man sich beispielsweise einen Roggenhalm vergegenwärtigt, welcher aus Hunderttausenden einzelner kleiner Bausteine (der Zellen) zusammengesetzt, bei einer Höhe von 1500 mm kaum 3 mm Durchmesser an seiner Basis erreicht. Bis zu 3000 mm erheben sich die schlanken Schäfte des Pfeilrohrs bei einer Grundfläche von nur 15 mm Durchmesser. Die Höhe des Pfeilrohrs beträgt das 200 fache, die des Roggenhalmes gar das 500 fache des Grunddurchmessers. Dabei trägt aber der Roggenhalm an seiner Spitze noch die schwere Last der Ähre, der schlanke Palmstamm die schweren und im Winde noch wie Segel wirkenden Blätter (welche bei der Lodoicea Seychellarum 7 m Länge und 3 bis 4 m Breite erreichen), deren Gewicht bei der schlanken Kokospalme noch durch die erhebliche Last der Früchte vermehrt wird.

Zudem kommt es bei den Pflanzen nicht auf die möglichste Unbeweglichkeit an wie bei den Werken menschlicher Architektur, und sie besitzen eine Eigenschaft, die wir unseren Bauten nicht geben, schon weil wir sie ihnen in dem Maße nicht zu verleihen vermögen; das ist die außerordentliche Elastizität. Der Roggenhalm weicht der Gewalt des starken Windes

aus, indem er seine Spitze bis zum Boden herabbeugt, er schnellt aber in die frühere Lage zurück, wenn die Wirkung des Windes aufhört. Die technischen Leistungen des Pflanzenkörpers sind also einzig in ihrer Art und sie sind höchst vollkommen für dessen Bedürfnisse. Von dem festen und zugleich elastischen Baumaterial, welches die Pflanze sich herstellt, macht ja auch die Technik aller Völker den ausgedehntesten Gebrauch, indem sie Holz zu Stützen und Trägern, Bastfasern zu Fäden und Tauen verwendet.

Anders als bei holzigen harten Stämmen und Stengeln wird die Festigkeit bei jungen Pflanzenteilen und bei jenen, zumal niederen Pflanzen zeitlebens erreicht, in denen die festen und elastischen Holz- und Sklerenchymfasern fehlen. Der Hauptbestandteil (oft 90 und mehr Prozent) dieser Pflanzen bezw. Pflanzenteile ist flüssiges Wasser, das einzig Feste an ihnen sind die äußerst zarten, dünnen Membranen. Derartige Pflanzenteile erreichen aber trotzdem eine ansehnliche Festigkeit und Elastizität und zwar durch die elastische Spannung dieser Membranen.

Der Turgor. Wenn Luft oder Wasser in einen elastischen Schlauch z. B. einen Gummischlauch unter hohem Druck eingepreßt wird, dann dehnt sich die Wand desselben, der Schlauch wird länger und dicker. Dabei ist der vorher schlaffe Schlauch um so steifer und fester geworden, je höher der Innendruck und je elastischer und dünner seine Wandung ist. Auf solchem Zusammenwirken elastischer Wandungen mit dehnenden Kräften beruht auch die Festigkeit und Elastizität der dünnwandigen Pflanzenzellen und aller aus solchen Zellen zusammengesetzten Organe. Der Innendruck kommt bei ihnen zu stande durch osmotische Anziehung und Wechselwirkung zwischen den in den Zellen gelösten Substanzen und dem dargebotenen Wasser(3).

Sind wasserlösliche Substanzen von ihrem Lösungsmittel durch eine Scheidewand getrennt, welche für beide Teile durchdringbar oder permeabel ist, so erfolgt die Anziehung und Bewegung der beiden Teile durch die Wand hindurch. Ist die trennende Wand für einen der beiden Teile leichter durchdringbar als für den andern, so wird dieser eine in größerer Menge durchwandern als der andere. Falls die Trennungswand nur für einen der beiden Stoffe permeabel, für den andern aber undurchlässig ist, so wird ausschließlich der durchgelassene Stoff durch die Wand zu dem zurückgehaltenen sich bewegen. Eine mit koncentrierter Kochsalzlösung gefüllte und in reines Wasser eingetauchte Schweinsblase läßt das Wasser rascher einströmen als die Kochsalzteilchen nach außen treten. Die Folge ist ein erheblicher Überdruck in der geschlossenen Blase, welcher sie prall auftreibt und zu einem harten Gebilde macht.

Der hier von der Kochsalzlösung erzeugte Innendruck wird in den Pflanzenzellen bedingt durch die im Zellsaft aufgelösten Stoffe, also vornehmlich durch organische und anorganische Säuren und Salze sowie Zuckerarten. Von diesen im Zellsafte gelösten Körpern läßt das lebendige Protoplasma nichts nach außen durch — mit Ausnahme des Verkehrs der Zellen untereinander, wobei Stoffwanderung und Stoffaustausch in ausgedehntem Maße vorkommen —, sie werden, wie das ja auch bei den im Zellsaft gelösten Farbstoffen direkt zu beobachten ist, von dem Plasma im Innern der Zellen zurückgehalten. Diese Stoffe ziehen demnach das Wasser durch die Zellmembran und das Plasma einseitig und mit Gewalt an und erzeugen so einen Druck in der Zelle, der häufig 3—5 Atmosphären, in einzelnen Fällen aber 10, 15, 20 und mehr Atmosphären (Zellen des Cambiums und der Markstrahlen von Bäumen) erreicht. Das sind Spannungen, welche zum Teil über die Dampfspannung in unseren stärksten Lokomotiven hinaus-

gehen. Durch diese Druckkräfte wird die Membran oft ansehnlich elastisch gedehnt, so daß die Zellen unter dem Einfluß dieses Innendruckes, des sogen. „Turgors“, länger und umfangreicher sind, als es dem ungedehnten Zustand ihrer Membran entspricht.

Wird einer solchen turgescenten Zelle irgendwie Wasser entzogen, dann vermindert sich natürlich der Innendruck, die elastisch gespannte Membran (deren Dehnung bis zu 10 und 20 % betragen kann) zieht sich zusammen, die Zelle wird kürzer und schmäler und verliert dabei ihre Festigkeit und Elastizität; sie wird weich und schlaff.

Dieser Zustand tritt unter natürlichen Verhältnissen ein, wenn eine krautige Pflanze durch die Verdunstung mehr Wasser verliert, als ihr ersetzt werden kann. Man sagt dann die Pflanze welke. Eine welke Pflanze zeigt durch ihr Schlaffwerden aber deutlich an, daß sie sich nicht durch die Festigkeit ihres Zellhautgerüstes, sondern nur durch den inneren Wasserdruck aufrecht erhalten konnte; eine reichliche Zufuhr von Wasser läßt denn auch den früheren Zustand alsbald wiederkehren.

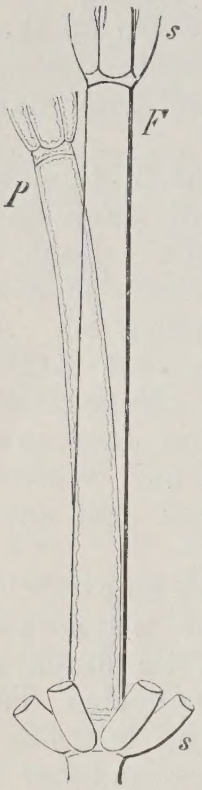


Fig. 170. Einzelliges Stammglied einer Nitella (Characee) etwa 6 mal vergrößert. *F* frisch und durch Turgor gespannt. *P* dasselbe nach zerstörtem Turgor, schlaff, kürzer und schmäler; das Plasma faltig von der Membran abgehoben. *s s* Seitenglieder.

Außer durch Verdunstung kann das Wasser den Zellen aber auch durch dieselben Molekularkräfte entzogen werden, welche den Druck in ihrem Innern erzeugen. Wird nämlich die Zelle von einer Lösung umspült, welche ebenfalls anziehend auf Wasser wirkt, so wird je nach der wasseranziehenden Kraft der letzteren der Turgor der Zelle geschwächt oder ganz aufgehoben. Geht die Wasserentziehung weiter, so löst sich der Protoplasmakörper von der Zellwand los und zieht sich mehr oder weniger kugelig zusammen. Auch bei dieser Wasserentziehung durch sogen. Plasmolyse schwindet mit der Spannung der Zellwand die Festigkeit; die Zellen werden schlaff und welk (Fig. 170).

Durch Überführen in reines Wasser kann, wenn nicht das Plasma von der Salzlösung stark gelitten hat, der frühere turgescente Zustand auch hier rasch wiederhergestellt werden. Ist das Plasma jedoch abgetötet, dann ist es vollkommen permeabel geworden und die Bedingung für einen einseitigen Überdruck ist zerstört. Frische, lebendige Scheiben der Zuckerrübe und der roten Rübe lassen, in reines Wasser gelegt, weder Zucker noch Farbstoff aus den unverletzten Zellen in dieses übertreten. Wird das Protoplasma aber getötet, dann entweichen Zucker und Farbstoff in das umgebende Wasser, die Scheiben verlieren dabei ihre Festigkeit und werden schlaff.

Umgekehrt erhöht sich der Innendruck, wenn Pilze, Bakterien oder Seepflanzen in eine schwächer koncentrierte Nährlösung bezw. in Süßwasser übertragen werden, oft bis zum Platzen der Zellhaut.

Die Plasmolyse hat insofern eine große wissenschaftliche Bedeutung, als sie uns in den Stand setzt, den in Pflanzenzellen herrschenden Druck durch Vergleich zu messen. Wenn eine Salpeterlösung von bestimmtem Prozentgehalt einen osmotischen Druck von fünf Atmosphären erzeugt (eine einprozentige Kalisalpeterlösung entwickelt nach Pfeffers Untersuchungen einen osmotischen Druck von ca. $3^1/_2$ Atmosphären) und diese Lösung gerade hinreichend ist, den Turgor einer Pflanzenzelle aufzuheben (was bei elastisch gedehnten Zellen sich schon durch das Aufhören der Verkürzung kundgibt), dann zeigt sie an, daß der Zellsaft annähernd mit derselben Kraft und bis zu einem gleichen Überdruck Wasser anzuziehen vermag. Auch die mechanischen Zugkräfte, welche nötig sind, ein welkes oder plasmolysiertes elastisches Organ auf seine

frühere Länge auszudehnen, können, wenn auch nur ein ungefähres Maß für die im turgescenten Pflanzenteil herrschenden Turgorkräfte liefern.

Bei der Turgorspannung sehen wir bekannte, rein physikalische Vorgänge die Kräfte zur Festigung der Pflanze liefern. Der physikalische Hergang ist aber insofern abhängig von vitalen Leistungen der Pflanze, als nur das lebendige Plasma in Verbindung mit dem Bau und den Eigenschaften der Zelle die Bedingungen dafür herzustellen vermag. Auch bei Gelegenheit anderer physikalischer Leistungen werden wir doch immer wieder die primäre und wesentliche Bedeutung der vitalen Prozesse kennen lernen, insofern sie es sind, welche die ersteren in den Dienst des Lebens zwingen, sie heranzuziehen, auszuschließen und abzuändern vermögen. So kann auch die lebende Pflanzenzelle ihren Turgor regulieren, erhöhen, herabsetzen, ja plötzlich ganz aufheben (vgl. Variationsbewegungen).

Die Gewebespannung. Die Festigkeit parenchymatischer Gewebe, welche wesentlich bedingt ist durch die Turgorspannungen ihrer einzelnen Zellen, wird noch erheblich verstärkt durch ähnliche Spannungen, die zwischen inneren und äußeren Gewebekomplexen, vornehmlich zwischen dem Mark und dem Haut- und äußeren Rinden-Gewebe bestehen. Das Mark spielt in diesem höheren System gewissermaßen die Rolle des Zellsaftes, indem es an Volumen zu gewinnen strebt; die Außengewebe dagegen gleichen in ihrer Wirkung der elastisch gespannten Membran der Einzelzelle, indem sie von dem Markcylinder über ihre eigentliche Länge elastisch ausgedehnt werden. Dieses Spannungsverhältnis wirkt natürlich auf das ganze Organ in gleicher Weise festigend wie der Turgor auf die einzelne Zelle.

Das Vorhandensein der Gewebespannung läßt sich sehr leicht nachweisen, wenn man bei einem turgescenten Sproß (z. B. einer Sonnenrose, oder einer Iva) einen Streifen der peripheren Gewebe abtrennt und das Mark für sich herausschält. Das Außengewebe wird sofort kürzer, das Mark sofort länger werden, als beide im Verbande des Sprosses waren. Hatte das benutzte Sproßstück eine Länge von 50 cm, so wird der Außenstreifen z. B. auf 46 cm sich zusammenziehen, das Mark aber sich rasch und kräftig auf 60—70 cm verlängern. N. J. C. Müller mußte einen Druck von 13½ Atmosphären anwenden, um das isolierte Mark auf seiner ursprünglichen Länge zu erhalten.

Die natürliche Länge des intakten Sprosses bildet also die Gleichgewichtslage zwischen dem Ausdehnungsbestreben des Marks und dem Kontraktionsbestreben der äußeren Gewebe. Die zwischen Mark und Hautgewebe liegenden Rindenschichten vermitteln zwischen diesen Spannungsextremen allmählich den Übergang, indem die inneren Schichten wie das Mark zusammengepreßt, die äußeren wie das Hautgewebe gedehnt sind. Auch bei der einfachen Längsspaltung eines frischen markigen Sprosses kommt die Gewebespannung zum Ausdruck und zwar dadurch, daß sich die Längshälften nach außen stark konkav krümmen, indem das Mark die längere konvexe, die Epidermis die kürzere konkave Seite bildet.

Selbst zwischen den inneren und äußeren Gewebeschichten hohler Pflanzenorgane bestehen meist starke Spannungen. Sehr ausgeprägt zeigen sich diese beispielsweise bei den Blütenschäften des Löwenzahns (Taraxacum officinale). Aus denselben herausgeschnittene Längsstreifen krümmen sich, zumal im Wasser, sehr energisch und rollen sich in engen Windungen auf. — Da Gewebespannungen überall dort auftreten, wo resistente, ungleich gespannte Gewebe miteinander in Verband stehen, so sind sie in den Pflanzen sehr verbreitet, auch da, wo sie nicht wie bei Stengeln und bei Blättern zur Fixierung der Gestalt beitragen. Längs- und Querspannungen treten insbesondere auch da auf, wo bei sekundärem Dickenwachstum neu gebildete und wachsende Gewebe den Widerstand anderer zu überwinden haben. So wird die primäre, dann die sekundäre Rinde der Bäume durch den Cambialzuwachs stark gedehnt. Um den von einem Stamme abgelösten Rindenring, der sich bei der Loslösung tangential stark verkürzt, wieder

schließend anzulegen, bedurfte es bei einem Versuche von KRABBE des Kraftaufwandes von 10 Atmosphären.

Die Meristeme der Vegetationspunkte weisen noch keine nennenswerte Gewebespannung auf, welche erst während der eigentlichen Streckung der Gewebe ihren höchsten Wert zu erreichen pflegt. Haben dann die Organe ihre schließliche Größe erreicht, dann nehmen mit der Elastizität der Membranen und mit der Zellspannung auch die Gewebespannungen wieder ab. Die Aufgabe der Festigung übernehmen für die Folge dann besondere Zellverbände, die ihre Wände stark verdicken und verhärten und ein an sich festes Gerüstwerk bilden, etwa wie es das Knochenskelett der höheren Tiere darstellt.

Mechanische Gewebe (Stereome) (4). Als **Skelettgewebe**, welche starken Knochen oder feinen Gräten vergleichbar den Pflanzenkörper durchsetzen, dienen vornehmlich die dickwandigen Elemente des Holzes, die sklerenchymatisch verdickten Fasern des Grundgewebes und des Bastes, ferner auch Steinzellkomplexe. Die stark verdickten festen Wände dieser Gewebearten sind nicht selten noch durch mineralische Einlagerungen verhärtet. Der Widerstand, welchen diese Gewebeformen dem Schneiden, dem Zerreißen und Brechen, dem Zerdrücken und scherenden Kräften entgegensetzen, verrät genugsam ihre Härte, Zähigkeit und Festigkeit. SCHWENDENERS exakte Untersuchungen haben bestimmte Vergleichszahlen für ihre mechanischen Eigenschaften ergeben. Danach kommt die Tragfähigkeit der Sklerenchymfasern innerhalb ihrer Elastizitätsgrenze (Tragmodul) im allgemeinen der des besten Schmiedeeisens gleich, sie erreicht bei einzelnen Pflanzen sogar die des deutschen Stahls. Dabei ist die Dehnbarkeit gegen 10—15 mal größer als die des Schmiedeeisens. Beim Überschreiten der Elastizitätsgrenze tritt bei den pflanzlichen Stereomen alsbald Zerreißen ein, während bei dem Eisen das Festigkeitsmodul erst bei etwa 3facher Belastung erreicht wird. Für die Bedürfnisse der Pflanze ist es von großer Bedeutung, daß bei ihr die Elastizitätsgrenze bis nahe an die Festigkeitsgrenze ausgedehnt werden konnte.

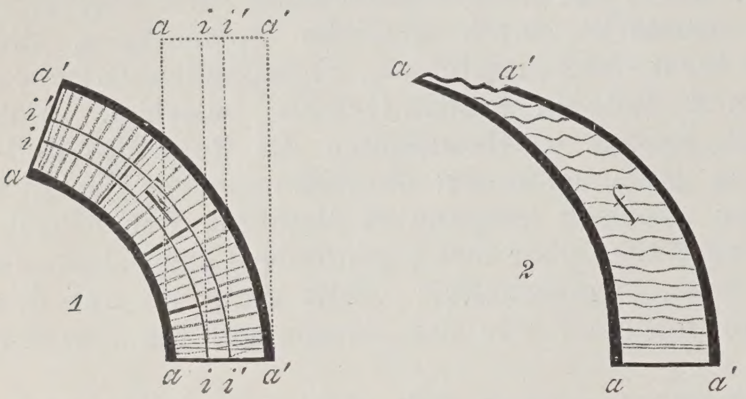


Fig. 171. *1* Längsschnitt durch einen elastischen Cylinder, vor der Biegung (punktiert) und nach derselben (ausgezogen). *F* die Füllung. Vor der Biegung alle Längskanten gleich lang; nach der Biegung die Außenkante *a'* verlängert, die Außenkante *a* verkürzt. *2* Bei unwirksamer Füllung *f* krümmen sich die Gurtungen *a* und *a'* leicht jede für sich, da sie dabei gleichlang bleiben können.

Wie die mechanische Widerstandsfähigkeit ihrer Substanz, so entspricht auch die Anordnung der Skelettgewebe im Pflanzenkörper ihrer besonderen Aufgabe. Sie ist, wie SCHWENDENER zeigte, je nach den Ansprüchen, welche an die Biegungsfestigkeit, an Zug- oder Druckfestigkeit etc. gestellt werden, verschieden. Zur Erreichung der Biegungsfestigkeit ist die günstigste Anordnung der harten Gewebe die peripherische. Wenn ein gerader prismatischer Stab gebogen werden soll, dann muß die konvexe Seite notwendig verlängert, die konkave mehr oder minder zusammengepreßt und verkürzt werden. Wie die obenstehende Fig. 171 zeigt, müssen die äußersten Kanten *a*, *a* und *a'*, *a'* des gebogenen Stabes die größten Längendifferenzen erfahren, während die Längsstreifen *i*, *i* und *i'*, *i'* im Innern nur wenig verlängert oder verkürzt werden. Wären die Skeletteile hier im Innern, bei *i*, *i'* ausgebildet, dann könnte mit Hilfe geringer Längendifferenzen derselben immerhin noch diese ansehnliche Biegung des Organs zu stande kommen;

je weiter sie aber nach außen liegen, um so mehr müßten sie gedehnt bezw. komprimiert werden, um so größeren Widerstand setzen sie demnach

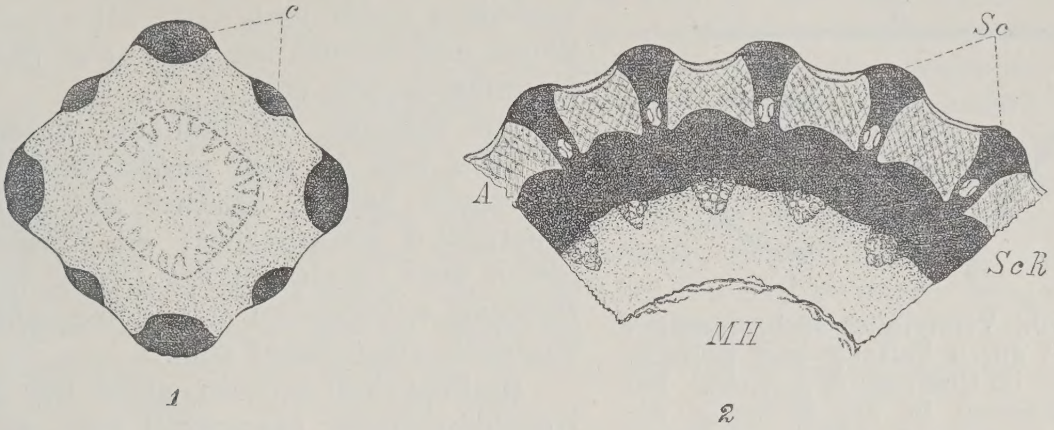


Fig. 172. Biegungsfeste Konstruktionen. *1* Querschnitt durch einen jungen Sambucussproß; *c* Kollenchymbündel. *2* Teil eines Halmquerschnittes vom Pfeifengras (Molinia coerulea), *Sc* Sklerenchymrippen, *ScR* Sklerenchymring als tangentialer Verband dazwischen. *A* grünes Assimilationsgewebe. *MH* Markhöhle.

der Beugung entgegen. Von wesentlicher Bedeutung ist dabei, daß die Stereome, welche die Rolle der „Gurtungen“ übernehmen, durch eine widerstandsfähige, gleichfalls elastische „Füllung“ (Fig. 171, *1*) in ihrem wirksamen Abstande und Verbande erhalten werden. Bei dem Fehlen solcher Füllung, die übrigens durch tangentialen Verband in hohlen Gliedern ersetzt werden kann, würde jede Stereomrippe für sich leicht zu beugen sein (Fig. 171, *2*). Bei aufrechten Stengeln und Blütenschäften, bei denen es auf Biegungsfestigkeit ankommt, findet man daher die mechanischen Elemente vorzugsweise außen angeordnet, oft sogar in vorspringende Kanten verlegt (Fig. 172, *1* und *2*). Bei Wurzeln, bei vielen Rhizomen und Stolonen, die sich zwischen Hindernissen durchwinden müssen, ist das Skelettsystem central angeordnet, wo es, ohne die Seitenbewegungen zu beeinträchtigen, durch seine kompakte Lage stets als Ganzes beansprucht, seine volle Zugfestigkeit entfalten kann (Fig. 173).

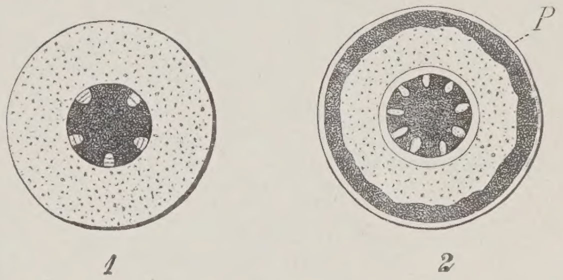


Fig. 173. Mechanisches Gewebe der Wurzeln. *1* Central angeordnet für Zugfestigkeit. *2* Neben dem centralen Strang ein peripherer Mantel *P* für Druckfestigkeit. (Stützwurzel.)

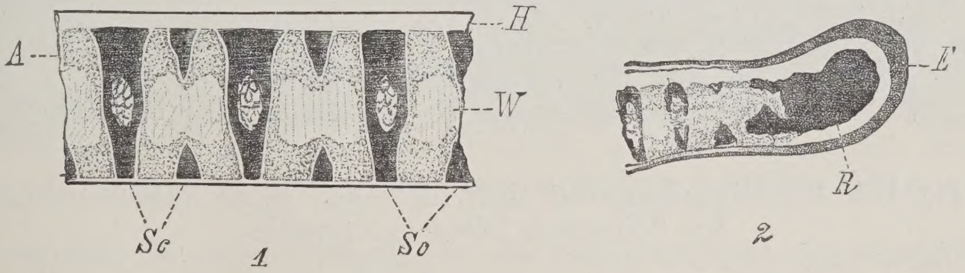


Fig. 174. Blatt von Phormium tenax. *1* Blattquerschnitt. *Sc* Sklerenchymplatten und -Stränge. *A* Grünes Assimilationsparenchym, *H* Hypoderma (Wasserspeicher), *W* farbloses Mesophyll (innere Wasserspeicher). *2* Randpartie desselben Blattes. *E* stark verdickte und gebräunte Epidermis. *R* Randbündel aus Sklerenchymfasern.

Wo es so vornehmlich auf Druckfestigkeit abgesehen ist, wie bei Samenhüllen (Pflaumenkernen, Hasel- und Walnüssen), aber auch bei gewissen subterranen oder submersen Pflanzenteilen, findet man Gewölbekonstruktionen aus Steinzellen oder aus Sklerenchymfaserzellen vor.

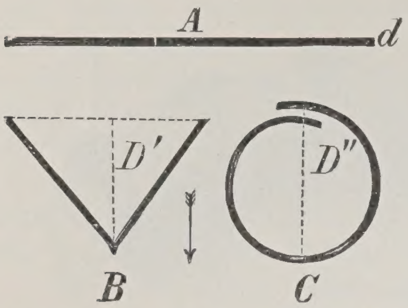


Fig. 175. Versteifung flächenförmiger Organe durch Faltung und Rollung. (Organe im Querschnitt gedacht.) Bei der Beugung in der Richtung des Pfeils kommt bei der ebenen Fläche *A* nur die Dicke *d*, bei dem gefalteten Organ *B* aber der Durchmesser *D′*, bei dem gerollten (*C*) der Durchmesser *D″* in Betracht.

Die Stämme von Bäumen, welche die schwere und oft sehr ausgedehnte Krone zu tragen haben, werden auf Säulenfestigkeit beansprucht; sie müssen zugleich dem longitudinalen Druck wie der Biegung widerstehen und demgemäß mechanisch ausgerüstet sein.

Blattspreiten müssen nicht nur gegen Durchbiegungen ausgesteift sein, sondern auch gegen die scherenden, auf eine Zerreißung der Blattfläche hinwirkenden Kräfte von Wind, Wasserbewegungen u. dgl. gesichert sein. Der erstgenannten Anforderung dienen die, oft auf der Unterseite als Träger vorspringenden Gefäßbündel (Blatt-Rippen, Blatt-„Nervatur“) als auch ober- und unterseits im Mesophyll angeordnete Stereom-Gurtungen (Phormium, Fig. 174, *1*). Die gegen scherende Kräfte in Betracht kommende Schubfestigkeit wird dagegen vornehmlich durch die Festigung des Blattrandes, teils durch bogig verlaufende und den Blattrand begleitende Gefäßbündel, teils durch dem Rande folgende Stereomzüge und -Kanten erreicht (Fig. 174, *2*).

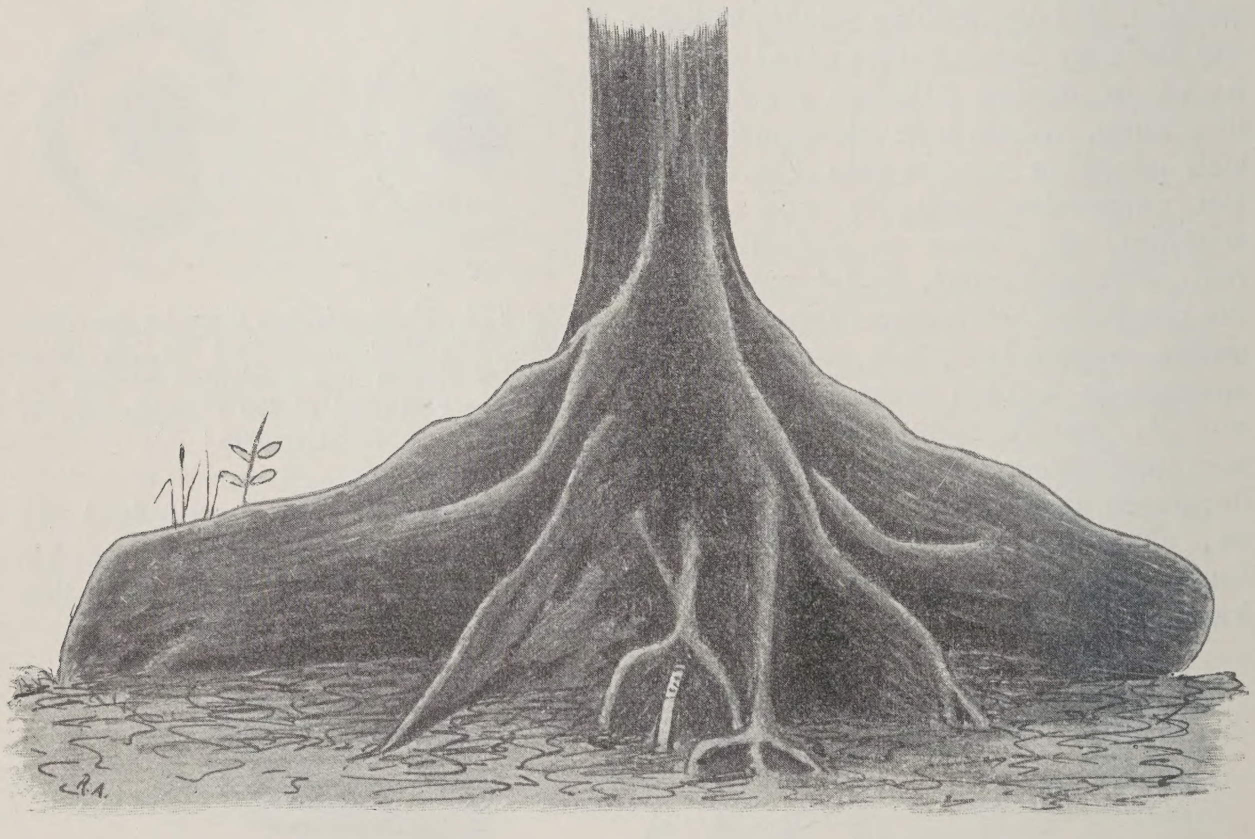


Fig. 176. Wurzelplankengerüst einer Sterculia. (Nach HABERLANDT. Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

Wo beides fehlt, wird das Blatt regelmäßig leicht vom Winde zerfetzt, wie z. B. die Bananenblätter im Freien.

Kollenchym. Alle stark verdickten und starren Skelettelemente haben die Fähigkeit zu wachsen eingebüßt und können daher keine Verwendung finden in Pflanzenteilen, die noch in lebhafter Streckung begriffen sind. Bedürfen solche jungen Pflanzenteile außer der Festigkeit, welche Zell- und Gewebespannung ihnen verleihen, noch einer besonderen Verstärkung, so wird dieselbe durch Kollenchym (S. 58) erreicht. Dieses Gewebe besitzt nach AMBRONNS Untersuchungen trotz hohen Wassergehalts eine ansehnliche Festigkeit gegen Zerreißen und die Eigenschaft, durch Zugkräfte leichter dauernd verlängert zu werden. Es gibt dem Wachstum seiner Umgebung dabei um so mehr nach, als es selbst am Wachstum noch aktiv teilnimmt. Es repräsentiert also sozusagen das Knorpelgewebe der Pflanzen(5).

Auf eine erhöhte mechanische Inanspruchnahme vermag die Pflanze nach den Beobachtungen von HEGLER und HARTIG mit einer Steigerung ihrer Festigkeit, durch kräftigere Ausbildung wie auch durch eine Vermehrung ihrer mechanischen Gewebe, zweckentsprechend zu reagieren (6). Die dem steten Angriff der Winde unmittelbar ausgesetzten äußersten Stämme eines Fichtenbestandes trotzen so der Gewalt des Sturmes, dem die inneren Stämme nach ihrer Bloslegung alsbald zum Opfer fallen.

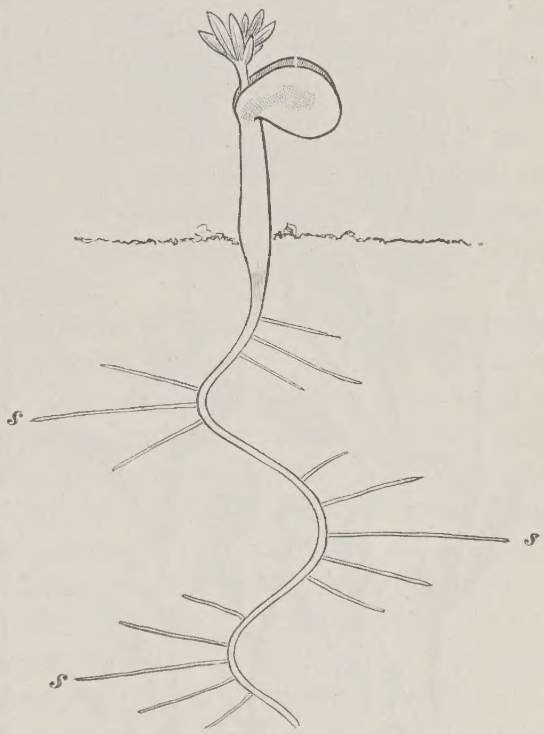


Fig. 177. Junge Lupine mit bogig gewachsener Hauptwurzel. Die Seitenwurzeln ausschließlich auf den Konvexflanken entwickelt, als Spannfasern wirkend.

Die an Fig. 171 geknüpfte Betrachtung von dem mit der Entfernung von der Mittellinie wachsenden Biegungswiderstand der Gewebe läßt es selbstverständlich erscheinen, daß ein flächenartig entwickeltes Organ, wenn es in einer Ebene ausgebreitet ist, verhältnismäßig leicht gebogen werden kann, daß die Widerstände gegen die Beugung aber bedeutend zunehmen, wenn das flache Organ gefaltet oder gerollt ist. Die so häufige Faltung und Rollung (Fig. 175) der Blätter erhöht demnach auch ohne Zuhilfenahme besonderer Gewebe ihre Steifigkeit bedeutend.

Neben der Festigkeit der Einzelorgane ist deren Anordnung, Ausbildung und Lage der Stabilität des Pflanzenkörpers als Ganzem dienstbar. Die Lage der Seitenäste, die bei ungestörter Entwicklung möglichst symmetrisch angeordnet werden, wird dabei durch aufwärts oder abwärts gerichtete Beugungen, Kniebildungen oder elliptischen Querschnitt gewährleistet. Der excentrische Bau geht bei den Wurzeln mancher tropischer Bäume so weit, daß sie das Aussehen schmaler brettartiger Strebepfeiler erlangen (Fig. 176) (7).

An gebogenen Wurzeln entspringen die Seitenwurzeln ausschließlich auf den konvexen Flanken (Fig. 177) und verhindern durch diese Spannungsfestigung die Lockerung des Wurzelsystems, welche notwendig mit einer Streckung der gekrümmten Faser verknüpft wäre (8).

II.

Die Ernährung.

Unter Ernährung versteht man den die Körpersubstanz liefernden Stoffwechsel. Ohne Ernährung, ohne Zufuhr von neuem Bildungsmaterial und seine Verarbeitung ist kein Wachstum und keine Entwicklung möglich, aber auch nicht einmal ein Verharren auf einem gegebenen Entwicklungszustand ist ohne ständige Ernährung erreichbar, denn die Lebensprozesse sind verbunden mit steten stofflichen Veränderungen, mit Umsetzungen und Ausscheidungen. Letztere gehen auch bei unterbrochener Nahrungszufuhr weiter, so daß ein lebendiger Organismus notwendig an Selbstverzehrung zu Grunde gehen, d. h. verhungern muß, wenn die verbrauchten Stoffe nicht wenigstens wieder ersetzt werden.

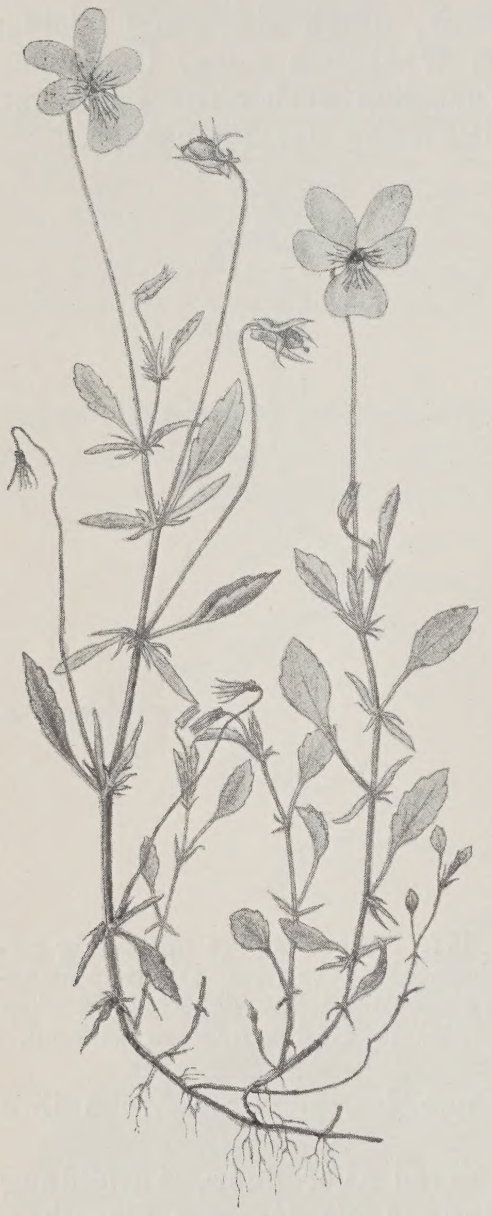


Fig. 178. Das Galmei-Veilchen, Viola lutea var. calaminaria, mit längeren Stengeln, kleineren Blüten und reicherer Verzweigung als die Grundform. Aus SCHIMPER, Pflanzengeogr. $^1/_2$ nat. Gr.

Die Bestandteile der Pflanzensubstanz. Über die in den Pflanzen vorkommenden Stoffe gibt die chemische Analyse die genaueste Auskunft. Es bedarf der Analyse jedoch nicht, um festzustellen, daß ein sehr großer, oft der weitaus größte Anteil an dem Gewicht einer Pflanze dem Wasser zufällt, welches die Pflanze durchtränkt. Wasser füllt nicht nur den größten Raum in den lebendigen erwachsenen Zellen aus, es durchdringt auch das Protoplasma, die Zellwände und alle organischen Gebilde. Durch Trocknen bei 110°—120° C. läßt sich aber das Wasser entfernen und es bleibt dann die ihres Wassers beraubte Trockensubstanz der Pflanze zurück. Diese Trockensubstanz macht je nach dem Pflanzenteil oder der Pflanzenart einen größeren oder geringeren Betrag des Gesamtgewichts aus. Bei holzigen Teilen kann sie bis 50% desselben betragen, bei saftigen Kräutern erreicht sie nur 20—30%, bei Succulenten und Früchten 5—15, bei Wasserpflanzen, zumal Algen, gar nur 2—5% des Frischgewichts; alles übrige ist Wasser.

Bekanntlich ist die Trockensubstanz der Pflanzen verbrennlich; sie besteht aus sauerstoffarmen organischen Verbindungen, welche durch die Verbrennung zerstört und in einfachere anorganische Verbindungen, größtenteils in Kohlensäure und Wasser, zerlegt werden. Die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bilden die Hauptbestandteile der brennbaren Trockensubstanz; ihnen folgt der Quantität nach der Stickstoff, welcher vornehmlich aus dem Protoplasma stammt. Wie man bei der Holzfeuerung in Öfen oder bei dem Verbrennen von Kartoffel- oder Bohnenstroh auf dem

Felde sehen kann, hinterlassen die Pflanzen nach der Verbrennung aber einen unverbrennlichen Rest als Asche. Das sind die mineralischen Bestandteile, welche in der Substanz der Pflanze enthalten waren, die aber während der Verbrennung Umsetzungen erfuhren und sich in der Asche in andern chemischen Bindungen als in der lebenden Pflanze vorfinden. Die sehr zahlreichen Aschenanalysen, welche von den verschiedenartigsten Pflanzen gemacht wurden, haben das Ergebnis geliefert, daß so ziemlich alle, auch die selteneren Elemente, in Pflanzen vorkommen können.

Außer den vier genannten sind es Schwefel, Phosphor, Chlor, Jod, Brom, Fluor, Selen, Tellur, Arsen (das u. a. mit Superphosphaten in den Kulturboden gelangt), Antimon, Silicium, Zinn, Titan, Bor, Kalium, Natrium, Lithium, Rubidium, Calcium, Strontium, Baryum, Magnesium, Zink, Kupfer, Silber, Quecksilber, Blei, Aluminium, Thallium, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel, die man in Pflanzenaschen antraf.

Viele dieser Elemente finden sich freilich nur vereinzelt und zufällig, andere dagegen begegnen dem Analytiker fast in jeder Asche, so S, P, Cl, Si, Ka, Na, Ca, Mg, und Fe. Wie das bloß gelegentliche Vorkommen und Fehlen vieler Elemente schon andeutet, sind nicht alle die in Pflanzen aufgefundenen Grundstoffe auch durchaus notwendig für die Ernährung; ihre Anwesenheit vermag wohl zuweilen einzelne Eigenschaften der Pflanzen zu verändern (stark zinkhaltiger Boden trägt sogen. Galmeivarietäten, wie Thlaspi alpestre var. calaminarium, Viola lutea var. calaminaria u. a.), nicht aber über die ganze Existenzfähigkeit zu entscheiden.

Die eigentlichen Nährstoffe. Die chemische Analyse, welche uns alle die in Pflanzen überhaupt vorkommenden Stoffe vorführt, klärt uns also keineswegs auch darüber auf, ob diese für die Ernährung notwendig sind oder nicht. Nur sorgfältige Kulturversuche mit chemisch kontrollierten Nährböden können darüber Auskunft geben, und durch derartige künstliche Ernährung von Pflanzen ist es erwiesen, daß außer den, die verbrennliche Trockensubstanz vornehmlich bildenden Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, noch die Elemente Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen im allgemeinen allen höheren Pflanzen durchaus unentbehrlich sind, so daß keine normale Entwicklung möglich ist, wenn auch nur eines dieser Elemente fehlt.

Pilze begnügen sich nach Molisch mit 9 dieser Elemente; es ist aber nicht etwa das Eisen, welches denselben entbehrlich ist, sondern der Kalk. Andererseits genügen die genannten zehn Grundstoffe vollkommen, um die meisten grünen Pflanzen ausreichend zu ernähren, wenn es auch nicht zu verkennen ist, daß auch noch andere Stoffe und Stoffgemische der Pflanze nützlich und zu ihrem Gedeihen förderlich werden können, ohne gerade unentbehrlich zu sein. So gedeihen viele Pflanzen, z. B. der Buchweizen, besser, wenn ihnen Chloride zur Verfügung stehen, und die Kieselsäure wirkt u. a. in hohem Grade nützlich durch die größere Widerstandsfähigkeit, welche sie den Geweben verleiht. Auch hat man gefunden, daß die Gegenwart gewisser, an sich nicht wertvoller Stoffe auf die Aufnahme der echten Nährstoffe oft fördernd, gleichsam appetitanregend, einwirkt (vgl. S. 151). Sogar bei den sehr giftigen Kupfersalzen hat man die Erfahrung gemacht, daß sie, wenn in Berührung mit Blättern gebracht (wie beim Bespritzen der Pflanzen mit Bordeauxbrühe gegen Schädlinge), deren Chlorophyllgehalt, Assimilation, Transpiration und Lebensdauer günstig beeinflussen. Auch andere Gifte fördern in minimalen Dosen oft das Gedeihen.

Die Nährstoffe werden natürlich nicht als Elemente, sondern größtenteils in chemischen Bindungen von den Pflanzen aufgenommen. Der wichtigste Bestandteil, welcher die Grundlage jeder organischen Substanz bildet, der Kohlenstoff, entstammt bei grünen Pflanzen lediglich der Kohlensäure der Luft und wird vornehmlich durch die Blätter aufgenommen. Die anderen Stoffe werden fast sämtlich durch die Wurzeln dem Boden entzogen. Der

Wasserstoff ist mit Sauerstoff im Wasser geboten, der Sauerstoff außerdem frei in der Atmosphäre und gebunden in vielen Salzen und Oxyden. Der Stickstoff wird von höheren Pflanzen nur in gebundener Form, zumeist in Gestalt von salpetersauren Salzen oder Ammoniaksalzen, von gewissen Pilzen, Algen und Carnivoren, aber auch in Form von Pepton, Aminosäuren, Amiden, selbst von Harnstoff, aufgenommen. Da das durch Bakterien aus organischen Abfallstoffen gebildete Ammoniak aber mit Hilfe der sogen. „nitrifizierenden“ Bakterien des Bodens und der Gewässer, und zwar durch Nitritmonaden in salpetrigsaure und weiterhin durch Nitratbakterien in salpetersaure Verbindungen übergeführt wird, so kommt für die Pflanzen zumeist nur der in Nitraten gebundene Stickstoff in Betracht(9).

Fig. 179. Buchweizen in Wasserkultur. *I* in Nährlösung mit Kali, *II* in Nährlösung ohne Kali. Beide gleich stark verkleinert, nach NOBBE.

Bakterien sind überhaupt durch besondere, von denen der höheren Gewächse abweichende Beziehungen zum Stickstoff ausgezeichnet. Außer den oben genannten, durch ihre Nitrifikation den grünen Pflanzen nützlichen Bodenbakterien kommen andere vor, welche Stickstoff mit Hilfe der Verarbeitung organischer Kohlenstoffverbindungen aus seinen Verbindungen befreien und ihn damit für die Ernährung der grünen Pflanzen unbrauchbar machen. Umgekehrt vermögen andere Bakterienformen, z. B. Clostridium Pasteurianum und andere Arten der Granulobacter-Gruppe, Aërobacter aërogenes, Bacillus radiobacter und Azotobacter chroococcum(10), den freien Stickstoff der Atmosphäre in solche Bindungen überzuführen, welche nicht nur ihnen selbst, sondern auch höheren Pflanzen als Stickstoffnahrung dienen können. Ob auch gewissen Fadenpilzen die gleiche Befähigung zukommt, ist noch nicht völlig sichergestellt. J. KÜHN schließt aus dem Vergleich fortgesetzter Erträge ungedüngter und gedüngter Parzellen, daß im Boden eine sehr ansehnliche Stickstoffbindung ständig stattfindet(11).

Schwefel und Phosphor bilden, ebenso wie der Stickstoff, wichtige Bestandteile des Protoplasmas. Sämtliche Proteïnsubstanzen enthalten Schwefel. Der Schwefel findet im allgemeinen mit schwefelsauren Salzen, der von den Pflanzen noch reichlicher aufgenommene Phosphor mit phosphorsauren Salzen Eingang in die Pflanze. Kali, im Gegensatz zu Natron ganz unentbehrlich zum Leben der Pflanze und, wie man glaubt, bei der Assimilation und bei den Synthesen der Plasmakörper hervorragend beteiligt, wird ebenfalls in Form von Salzen und zwar bis zu 3, 4 und 5 % des Trockengewichtes eingeführt. Die Magnesia, wie das Kali bei den wichtigsten Synthesen mitwirkend, findet sich, an verschiedene Säuren gebunden, vornehmlich in Reservestoffbehältern (in Samen bis 2 %) und an den Vegetationspunkten (in Blättern nur bis 1/2 %). Auch der Kalk wird in Gestalt seiner vielverbreiteten Salze aufgenommen und zwar in sehr erheblichen Mengen (2—8 %). Er spielt im Stoffwechsel der grünen Pflanze eine wichtige Rolle, nicht nur, wie man früher glaubte, als Bindungsmittel für schädliche Nebenprodukte (Oxalsäure)(12), zumal auch als Transportmittel. Das Eisen ist in allen Pflanzen, oft nur in sehr geringen Mengen, enthalten, ist

aber trotzdem von der größten Bedeutung, u. a. auch für die Bildung des Chlorophyllfarbstoffs.

Die künstliche Ernährungsweise, welche vor allen anderen geeignet ist, über den Nährwert eines Stoffes Aufschluß zu geben, ist die Methode der Wasserkultur (Fig. 179). Bei dieser Kultur zieht man die Pflanzen aus Samen oder kleinsten Stecklingen und läßt das Wurzelsystem statt in Erde sich in Wasser entwickeln. Dem benutzten destillierten Wasser (das nicht in kupfernen Apparaten hergestellt sein darf) fügt man die Nährsalze in chemisch reinem Zustande bei. Sind alle Nährsalze in dem Wasser geboten, dann entwickeln sich darin auch Landpflanzen, z. B. Mais, Bohnen, Getreide, sehr gut und machen den ganzen Entwicklungsgang bis zur Reife ihrer Samen durch. Für eine Kohlenstoffverbindung braucht man dabei in der Nährlösung nicht zu sorgen, weil nämlich die Pflanze dieses wichtige Element nicht durch die Wurzeln, sondern mit Hilfe ihrer Blätter aus der Kohlensäure der Luft aufnimmt.

In reinem, destilliertem Wasser würde sich die junge Pflanze vorerst zwar ebensogut aus dem Samen entwickeln wie in der Nährlösung; das dauert aber nur so lange, bis der im Samen vorhandene Vorrat an Nährstoffen erschöpft ist, dann geht die junge Pflanze langsam ein. Läßt man eines der obengenannten Salze aus der Nährlösung weg, so entwickelt sich die Pflanze zwar besser als in reinem Wasser, aber auf die Dauer auch nicht normal. Versäumen wir es z. B., der Nährlösung Spuren von Eisen zuzusetzen, so werden die jüngeren Blätter nicht mehr grün (obwohl der Chlorophyllfarbstoff selbst kein Eisen, dagegen stets Magnesium, enthält), sondern kommen fahlgelb zur Entfaltung; sie sind „chlorotisch“ und so nicht im stande, die Kohlensäure zu zerlegen und die Pflanze zu ernähren. Ein Zusatz von Eisen läßt die chlorotischen Blätter aber in kurzer Zeit nachträglich ergrünen.

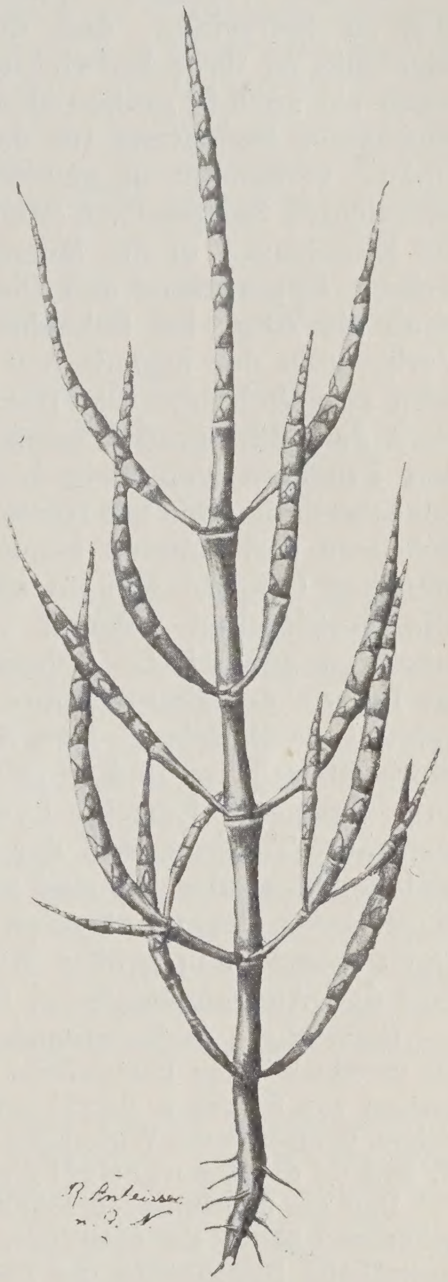


Fig. 180. Salicornia herbacea, eine ausgesprochene Salzpflanze. Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

Die Form, in welcher die nötigen Nährstoffe geboten werden, kann wie die prozentische Zusammensetzung der Nährlösung (soweit sie nicht zu konzentriert ist) verschieden sein. Die Pflanze vermag diese Stoffe sehr verschiedenen Verbindungen zu entziehen und hat außerdem das Vermögen, dieselben in anderen Verhältnissen aufzunehmen, als sie ihr von außen geboten werden. Aus koncentrierteren Nährlösungen wird im allgemeinen die Aufnahme von Wasser bevorzugt, umgekehrt werden aus sehr verdünnten Lösungen vorzugsweise Salze aufgenommen. Auch übt die Anwesenheit gewisser Stoffe auf die Aufnahme anderer oft einen lebhaften, meist befördernden Einfluß aus. So fördern z. B. Kalksalze die Aufnahme von Kali- und Ammoniaksalzen. — Zur Vermeidung der Giftwirkungen, wie sie nach Darbietung löslicher Phosphate ebenso wie

auch löslicher Eisensalze auftreten, empfiehlt v. d. Crone der Nährlösung folgende Zusammensetzung zu geben: Kalisalpeter 1 g; Ferrophosphat (bezw. ein Gemisch gleicher Teile von Ferrophosphat und Tertiärcalciumphosphat) je 0,5 g; Gips und Magnesiumsulfat je 0,25 g auf 1—2 Liter Wasser. Die ungelösten Pulver sind, nachdem die Wurzeln eine gewisse Länge erreicht haben, aufzurühren. In der v. d. Croneschen Lösung entwickeln sich die Versuchspflanzen ungleich besser als in den bisher angewandten Knoopschen und Sachsschen Nährlösungen. Die störende Entwicklung kleiner Algen wird sehr beschränkt (13).

Als das wichtigste Ergebnis solcher künstlicher Kulturen haben wir es also zu betrachten, daß die höheren Pflanzen nur die genannten zehn Elemente zu ihrer Entwicklung durchaus benötigen; alle anderen Elemente, wenn sie auch in großen Mengen in der Pflanze vorkommen, sind von untergeordneter Bedeutung für das Leben. Das gilt vom Natrium, welches mit Chlor verbunden in gewissen Pflanzen vorherrscht und den Habitus der succulenten Salzpflanzen (Halophyten) (Fig. 180) bestimmt, vom Silicium, das als Kieselsäure in die Membranen mancher Gewächse, der Schachtelhalme, Gräser, Cypergräser und Diatomeen so reichlich eingelagert ist (bei Weizenstroh bis 70 %, bei Schachtelhalmen 70—97 % der Asche), daß nach dem Verbrennen der organischen Substanz ein festes Kieselskelett der Membran zurückbleibt. Die Härte und Festigkeit der Membran, welche an sich etwa den Härtegrad 2 besitzt, wird durch diese Einlagerung wesentlich (bei den Früchten von Coix bis zur Härte 7 [Quarz], bei der Epidermis der Schachtelhalme bis zur Härte 4 [Flußspat]) erhöht, so daß Schachtelhalme zum Scheuern und Polieren benutzt werden und man sich an dem Blattrand von manchen Gräsern wie an einer scharfen Säge gefährlich verwunden kann. Die verkieselten Schalen von Diatomeen bilden als Kieselgur sogar mächtige geologische Ablagerungen. Von rätselhafter Bedeutung sind die im Innern der Bambusrohre abgeschiedenen und als „Tabaschir“ bezeichneten Kieselknollen. Das Aluminium (Tonerde), welches wie die Kieselsäure überall im Boden reichlich vorhanden ist, wird nur ausnahmsweise aufgenommen. Einzelne Lycopodien enthalten aber so viel essigsaure bezw. weinsaure Tonerde, daß der Saft zur Färberbeize benutzt werden kann; die gleichen Tonerdesalze sind auch in den Weinbeeren enthalten. Das Jod, im Meerwasser kaum in Spuren analytisch nachweisbar, wird von den Meeresalgen trotzdem in großer Menge aufgespeichert, so daß die letzteren lange Zeit das Ausgangsmaterial für die technische Jodgewinnung bildeten.

Entbehrliche Aschenbestandteile können der Pflanze insofern nützlich sein, als sie die unentbehrlichen Bestandteile in allgemeineren Eigenschaften (als Basen zur Neutralisation von Säuren u. dergl.) vertreten und so die unentbehrlichen Stoffe für ihre speziellen, unersetzbaren Wirkungen in vollem Umfang disponibel machen. So kann Na das K, und Ca das Mg partiell ersetzen.

Daß die mineralischen Inhaltsstoffe der Pflanzen, von denen man auch einmal angenommen hatte, sie entstünden als Produkt der Lebenskraft in der Pflanze selbst, wesentliche Bestandteile der Pflanzennahrung ausmachen, sprach zuerst Berthollet 1803 aus; später betonte es C. Sprengel, dann auch Liebig. Exakt bewiesen wurde diese wichtige Tatsache aber erst durch Wiegmann und Polstorff (14).

Die tatsächliche Verteilung der wichtigsten Aschenbestandteile bei einigen bekannten Kulturpflanzen geht aus nachfolgend zusammengestellten Aschen-Analysen von E. Wolff hervor, welche zugleich zeigen, welche Ansprüche die genannten Ernteprodukte an den Boden stellen bezw. welche Stoffe sie demselben (neben Nitraten, die nicht als solche in der Asche erscheinen) entziehen (15).

Man beachte in den oberen Reihen nachstehender Tabelle den großen Gehalt der Samen an wichtiger Phosphorsäure und den im Verhältnis zum Stroh geringen Gehalt an unwichtiger Kieselsäure und an überall zugänglichem Kalk.

Pflanzenteile	Asche in 100 Tln. der Trockensubstanz	In 100 Teilen der Asche sind enthalten:									
		K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	Mn_3O_4	P_2O_5	SO_3	SiO_2	Cl
Roggen (Körner) .	2,09	32,10	1,47	2,94	11,22	1,24	—	**47,74**	1,28	**1,37**	0,48
„ (Stroh) . .	4,46	22,56	1,74	8,20	3,10	1,91	—	**6,53**	4,25	**49,27**	2,18
Erbsen (Samen) . .	2,73	43,10	0,98	**4,81**	7,99	0,83	—	**35,90**	3,42	0,91	1,59
„ (Stroh) . .	5,13	22,90	4,07	**36,82**	8,04	1,72	—	**8,05**	6,26	6,83	5,64
Kartoffel (Knolle) .	3,79	60,06	2,96	2,64	4,93	1,10	—	16,86	6,52	2,04	3,46
Weintraube(Beere)	5,19	56,20	1,42	10,77	4,21	0,37	—	15,58	5,62	2,75	1,52
Tabak (Blätter) . .	17,16	29,09	3,21	36,02	7,36	1,95	—	14,66	6,07	5,77	6,71
Baumwolle (Faser)	1,14	36,96	13,16	17,52	5,36	0,60	—	10,68	5,94	2,40	7,60
Fichte (Holz). . . .	0,21	19,66	1,37	33,97	11,27	1,42	**23,96**	2,42	2,64	2,73	0,07

In ähnlicher Weise haushälterisch verfahren nach Wille die Meeresalgen in ihren Vegetationsorganen mit den spärlichen Nitraten und Phosphaten des Meerwassers, nicht aber mit Kali und Magnesia (16).

Bezüglich der mitgeteilten Zahlen ist noch zu bemerken, daß sie keine konstanten Verhältnisse ausdrücken, daß vielmehr die Zusammensetzung der Asche je nach dem Kulturboden wechseln kann. So schwankt u. a. der Kaligehalt des Klees je nach dem Boden zwischen 9—50 %, der Kalkgehalt des Hafers zwischen 4—38 %.

Die Stoffaufnahme (17) muß bei den Pflanzen in der Regel durch die feste Zellmembran hindurch stattfinden, und da diese keine Öffnungen besitzt, so ist eine Aufnahme fester Nahrung bei den Pflanzen ausgeschlossen. Nur nackte Entwicklungsformen niederer Pflanzen (Amöben, Plasmodien) und viele Flagellaten sind im stande, gröbere Teile (organische und anorganische Körperchen) in ihr Plasma aufzunehmen bezw. wieder auszuscheiden.

Die lückenlose Umkleidung der Pflanzenzellen mit fester Membran gestattet nur gasförmigen oder gelösten (bezw. flüssigen) Stoffen den Eintritt in das Innere der Zellen. Da die Stoffe aber in diesem Zustande unserer Wahrnehmung zumeist leicht entgehen, so erklärt es sich, daß man über die Ernährungsweise der Pflanzen so lange im Unklaren blieb und erst im Laufe des achtzehnten Jahrhunderts die wichtigsten Tatsachen derselben kennen lernte.

Von der größten Wichtigkeit für die Ernährung ist die Durchlässigkeit der Zellmembranen für Gase, für Wasser und Lösungen. An der lebenden Zelle ist die Zellhaut von Wasser innig durchdrungen („imbibiert") und dieses „Imbibitionswasser" bedingt mit die physikalischen Eigenschaften der Membran, ihre Geschmeidigkeit, Elastizität und Dehnbarkeit. Die Menge des Imbibitionswassers bleibt in bestimmten Grenzen, so daß die Membran ihren Charakter als festen Körper nicht einbüßt.

Durch künstliche Eingriffe (Einwirkung von Kalihydrat, Schwefelsäure usw.) kann allerdings erreicht werden, daß die Membran durch eine Mehreinlagerung von Wasser zu gallertartigen Massen aufquillt oder in dünnen Schleim zerfließt. Solche Quellung ist eine gesteigerte Imbibition, die Imbibition der gewöhnlichen Membranen eine auf ein bestimmtes Maß beschränkte Quellung. Die Wände der Holzzellen nehmen etwa $1/3$ ihres Gewichts an Imbibitionswasser auf; die im normalen Entwicklungsgang verquellenden Membranen mancher Algen und einzelner Samen- und Fruchtschalen aber vielmal mehr als ihr eigenes Trocken-Volumen.

Von besonderer Bedeutung für die Nahrungsaufnahme ist es

aber, daß die in die Membran eindringende Flüssigkeit nicht nur aus reinem Wasser besteht, sondern daß auch gelöste Stoffe leicht die Membran durchdringen und darin fortbewegt und verschoben werden können. Zellwände, die für Wasser schwer oder gar nicht permeabel sind (cutinisierte Membranen), kommen für die Stoffaufnahme also nur so weit noch in Betracht, als sie für Gase permeabel bleiben.

Um in das Innere der lebendigen Zelle zu gelangen, müssen die von außen osmotisch aufzunehmenden Stoffe aber auch von dem Protoplasma ein- und durchgelassen werden; sie müssen auf ihrem Wege in die Zelle zunächst die der Membran dicht anliegende äußere Hautschicht des Protoplasten passieren. Hier tritt den von der Membran unterschiedslos aufgenommenen Stoffteilchen aber eine lebendige Substanz entgegen, welche keineswegs in gleicher Weise für sie permeabel ist, vielmehr gewissen Stoffen den Eintritt vollständig verwehrt, andern denselben leichter oder schwerer gestattet und überdies noch im stande ist, ihre Permeabilität für bestimmte Stoffe nach Umständen zu verändern. Hier bei der äußeren Hautschicht liegt also die wesentliche Entscheidung, ob ein die Zelle außen bespülender Stoff in das Innere gelangen kann oder nicht. Bei dem Übertritt der Stoffe aus dem Plasma in den Zellsaft vermag die Vakuolenwand wieder eine derartige, von der äußeren unter Umständen abweichende Auswahl zu treffen. Derselbe Einfluß der Grenzschichten kommt auch in Betracht beim Austritt von Stoffen aus dem Zellinnern. Durch diese von den Grenzschichten ausgeübte Wahl ist es ermöglicht, daß trotz ständiger osmotischer Vorgänge der Inhalt der Zellen stofflich so ganz anders beschaffen sein kann als ihre unmittelbare Umgebung. In dieser für das Leben hochwichtigen Eigenschaft der Hautschichten ist also die Ursache für das merkwürdige Wahlvermögen der Zellen zu suchen, welches sich darin so auffallend kundgibt, daß verschiedene Zellen oder die Wurzeln verschiedener Pflanzen aus dem gleichen Nährboden ganz verschiedene Bestandteile sich aneignen. Aus demselben Erdgemisch vermag die eine Pflanze vorzugsweise die Kieselsäure, die andere vornehmlich den Kalk, eine dritte das Kochsalz zu ziehen. Besonders lehrreich in dieser Beziehung sind die Meeresalgen, welche von einer Lösung umspült werden, die etwa 3 % Kochsalz, dagegen wenig Kalisalze enthält. Trotzdem nehmen ihre Zellen verhältnismäßig wenig Kochsalz auf, dagegen sammeln sie reichlich Kalisalze, auch Phosphate, Nitrate und Jod an, also Stoffe, welche die chemische Analyse im Meerwasser wegen ihres äußerst geringen prozentischen Anteils kaum nachweisen kann. So vermag auch Penicillium glaucum nur deshalb auf einer 21 % Kupfervitriol enthaltenden Nährlösung zu gedeihen, weil wohl Nährstoffe, nicht aber das Kupfersalz Eingang in die Zellen findet([18]).

Für die osmotische Bewegung und Speicherung der Stoffe ist es von wesentlicher Bedeutung, daß die von außen in die Zellen diosmierenden Stoffe durch die Tätigkeit des Protoplasmas, oder sonstwie, Umwandlungen erfahren. Eine lokale Ansammlung von Zucker oder von andern löslichen Reservestoffen in Früchten, Samen, Zwiebeln und Knollen wäre sonst nicht möglich, denn die ungehinderte Osmose müßte zu einer gleichmäßigen Verteilung der diosmierenden Substanzen innerhalb aller Zellen der Pflanze führen. Wird der leicht diosmierende Stoff in gewissen Zellen oder Geweben aber in einen andern, nicht diosmierenden verwandelt, so kann fortwährend leicht diosmierender in die Zellen weiter einströmen, und das nicht diosmierende Umwandlungsprodukt wird darin gespeichert. Besonders deutlich wird dieser Vorgang bei der Um-

bildung von osmotisch wandernden Glukosen in unlösliche Stärke. Da die in Knollen und Samen eintretende Glukose beständig in dieses unlösliche Polysaccharid umgewandelt wird, so wird ständig neue Glukose in jene glukosearmen Zellen einströmen und ein großer Vorrat von Kohlehydrat sich dort ansammeln können.

Das Wasser und die Mineralstoffe.

Ohne Wasser kein Leben; die lebendigen Teile aller Lebewesen sind von Wasser innig durchtränkt; nur in diesem durchfeuchteten Zustande spielen sich überhaupt Lebensvorgänge ab. Das Protoplasma, der eigentliche Träger des Lebens, ist in voller Lebenstätigkeit von schleimiger bis dünnflüssiger Konsistenz und in trockenem Zustande tot oder doch untätig.

So erlöschen in Samen und Sporen, die das Austrocknen bis zu einem gewissen Grade und während einer begrenzten Dauer ertragen, die eigentlichen Lebensfunktionen mit der Austrocknung und beginnen erst wieder bei der erneuten Durchtränkung der Zellen mit flüssigem Wasser.

Bei den meisten Pflanzen führt das bloße Austrocknen aber schon unabänderlich den Tod herbei und es ist als eine, besonderen Lebensbedingungen entgegenkommende Ausnahme zu bezeichnen, wenn ausgetrocknete ganze Pflanzen oder deren Fortpflanzungskörper bei nachheriger Durchfeuchtung wieder zum Leben erwachen. So überdauern einige algerische Arten von Isoëtes, ebenso wie die auf den regenarmen Hochebenen Centralamerikas wachsende Selaginella lepidophylla, die monatelange Dürre bei voller Sonnenglut in lufttrocknem Zustande (19). Der erste Platzregen aber läßt sie wieder weiter wachsen. Ebenso vermögen viele Laub- und Lebermoose, Flechten und Algen, die auf Felsen, Baumrinden oder dergleichen ihren Sitz haben, ohne Schaden völlig auszutrocknen. Samen und Sporen sind nach ihrer Ablösung von der Mutterpflanze und bei ihrer Verbreitung stets dem Austrocknen ausgesetzt und ertragen dasselbe oft lange Zeit. Samenkörner von Nelumbium, welche an 100 Jahre lang aufbewahrt wurden, sollen sich trotzdem noch keimfähig erwiesen haben; desgleichen Moossporen, welche 50 Jahre im Herbarium gelegen hatten. Die behauptete Keimung von ägyptischem Mumienweizen beruhte aber auf einem Irrtum. — Manche Samen verlieren ihre Keimkraft im Trocknen erst nach einem oder wenigen Jahren, manche schon nach Tagen, und wieder andere sollen ein Austrocknen überhaupt nicht vertragen. Dagegen ist für die Samen gewisser Wasserpflanzen ein vorheriges Eintrocknen zur Erlangung der Keimfähigkeit nützlich oder notwendig (Eichhornia u. a.) (20). — Es muß aber hervorgehoben werden, daß die oben angeführten Pflanzenteile auch im Zustande völliger Lufttrockenheit immer noch hygroskopisch gebundenes Wasser in ansehnlicher Menge (etwa 9—14 %) enthalten; selbst über der Schwefelsäure des Exsiccators bewahren Samen wochenlang noch 6 und mehr Prozent ihres Gewichts an Wasser. Auch die Austrocknung bei 110°, sowie durch absoluten Alkohol, vertragen manche Samen und Sporen ganz gut.

In der Pflanze spielt das Wasser aber noch eine mannigfaltigere Rolle als die der Durchtränkung und Aktivierung der Zellen. Es ist nicht nur mittelbar als Lösungs- und Transportmittel dem Stoffwechsel unentbehrlich, sondern auch unmittelbar dadurch, daß seine Substanz (die Elemente H und O) zur Bildung organischer Verbindungen verwandt wird; das hierzu benutzte Wasser (vgl. S. 175) kann als Konstitutionswasser bezeichnet werden. Zur Bildung von je 100 g Stärke oder Cellulose werden 55 g, zur Bildung der gleichen Gewichtsmenge Glukose 60 g Wasser in dieser Weise verbraucht. Wasser wird weiterhin zur Festigung der parenchymatischen Zellen durch den Turgor (siehe S. 141) benutzt. Es dient ferner dem Wachstum der Pflanzenzellen, die es in großen Mengen in sich aufnehmen und mit Hilfe seines Volumens sich vergrößern (S. 205), ohne dazu eines großen Aufwandes von organischer Substanz zu bedürfen.

Ein weiterer wichtiger Dienst, den das Wasser der Pflanze leistet, besteht in der Einführung der Bodennährstoffe in den Pflanzenkörper. Werden zur Festigung und zumal zur Organvergrößerung schon ansehnliche Mengen Wassers im Pflanzenkörper festgehalten (bis zu 96 % in saftigen Geweben), so passieren im Dienste der Nahrungszufuhr noch viel größere Mengen beständig den Körper der Pflanze, werden durch die Wurzeln aufgenommen und durch die Verdunstung der oberirdischen Teile wieder ausgeschieden. — Die Transpiration dieser Teile hebt deren Sättigung mit Wasser stets auf, veranlaßt und ermöglicht dadurch den Zustrom von den wasserreicheren Wurzeln her und führt auch wieder zum Verlust der nachgerückten Wassermengen. Die dadurch veranlaßte Wasserströmung bezeichnet man deshalb als den Transpirationsstrom. Bei der Verdunstung können nur Wasserdampf und Gase aus dem Pflanzenkörper austreten. Da das von den Wurzeln aufgenommene flüssige Wasser aber auch Salze und andere nicht flüchtige Stoffe in Lösung enthält, so bleiben diese bei der Verdunstung des Wassers in der Pflanze zurück und sammeln sich in ihr mehr und mehr an. Auf diese Zunahme der Mineralstoffe ist es bei dem Transpirationsstrom aber gerade abgesehen. Sie ist durchaus notwendig, denn das von den Wurzeln aufgenommene Nährwasser ist so arm an Mineralsubstanzen (es enthält kaum mehr feste Bestandteile als ein gutes Trinkwasser), daß die Pflanze zu wenig von diesen wichtigen Aschenbestandteilen erlangen würde, wenn sie nur so viel Wasser aufnehmen könnte, als sie in einem gegebenen Augenblick zu fassen vermag.

Die Einrichtungen der Pflanze, welche die Verdunstung des Wassers ermöglichen oder fördern, sind demnach vornehmlich der Ernährung dienstbar. Wäre die Transpiration zur Gewinnung der Mineralstoffe nicht im höchsten Grade nützlich, ja notwendig, dann würden bei den Pflanzen jedenfalls Vorkehrungen getroffen worden sein, um sie auf das geringste Maß zu beschränken. Erhöht doch die Transpiration das Wasserbedürfnis der Pflanzen im Vergleich zu ihrem bleibenden Wassergehalt ganz unverhältnismäßig, und setzt sie doch die Pflanzen dadurch in erhöhtem Grade der Gefahr des Welkens und Verdorrens aus.

Trotz der damit verbundenen Gefahr des Vertrocknens sehen wir die Transpiration durch verschiedene Einrichtungen sogar entschieden gefördert (s. S. 164 ff.); wir sehen sie einen starken Wasserstrom erzeugen, der mit Nährsalzen beladen einströmt und mit Hinterlassung seiner gelösten festen Bestandteile unsichtbar als Wasserdampf wieder austritt. Die Pflanze verfährt, um zu ihren festen mineralischen Nährstoffen zu kommen, also in ähnlicher Weise mit dem Wasser wie gewisse niedere Tiere, welche zu ihrer Ernährung ständig einen starken Wasserstrom durch ihren Körper bewegen (Schwämme, Ascidien), um die in demselben suspendierten Körperchen zurückzuhalten.

Die Aufnahme des Wassers. Das von der Pflanze aufgenommene „Wasser" ist also in Wirklichkeit eine sehr verdünnte wässerige Lösung, welche die verschiedensten Stoffe aus der Atmosphäre, aus den Bodenmineralien und aus dem organischen Humus enthält. Man muß sich weiterhin noch einmal vergegenwärtigen, daß die lebendige Pflanze kraft ihres Wahlvermögens (S. 154) eine gewisse Auslese unter den gebotenen Stoffen dieses „Nährwassers", wie es im folgenden bezeichnet werden mag, trifft.

Niedere Pflanzen, deren Vegetationskörper noch nicht oder nur wenig differenziert ist, vermögen das Wasser und die gelösten Stoffe überall an

ihrer Oberfläche aufzunehmen. Dasselbe gilt im allgemeinen auch von den untergetauchten Wasserpflanzen, selbst von denen aus phanerogamen Familien. Die Wasserpflanzen werden am ganzen Körper von dem Nährwasser umspült, besitzen oft überhaupt keine Wurzeln (Utricularia, Wolffia), oder ihre Wurzeln dienen vornehmlich als Haftorgane, die der Pflanze lediglich einen Halt und einen festen Standort verbürgen. Anders liegen aber die Verhältnisse bei allen Pflanzen des trockenen Landes, welche Stämme und Blätter in der freien Luft entfalten und welche bei ihrem Wasserbedürfnis auf das im Boden capillar festgehaltene spärliche Wasser angewiesen sind. Um dieses Wasser in hinreichender Menge zu erlangen, sind Organe nötig, welche sich in dem Boden ausbreiten, das festgehaltene Wasser überall aufsuchen und mit ihm in engste Berührung treten. Diese Organe müssen das Wasser dem Boden kräftig entreißen und den oberirdischen Teilen zuleiten können. Die genannte Aufgabe erfüllt das Wurzelsystem der Landpflanzen, welches neben der Wasserversorgung die mechanische Aufgabe der Befestigung zu lösen hat (21).

Umgekehrt wird natürlich auch lockerer Boden von den darin sich verzweigenden Wurzeln erfolgreich zusammengehalten, ein Umstand, welchen man technisch benutzt, um das lockere Erdreich von Dünen, Dämmen, Abhängen oder Schwemmböden durch Anpflanzung zu befestigen.

Fig. 181. Die Spitze eines Wurzelhaars mit Bodenteilchen verwachsen. Vergr. ca. 240.

Die kleine Scholle Erde, die bei der dichten Besetzung aller geeigneten Standorte der einzelnen Pflanze zur Verfügung steht, wird von einem gut entwickelten Wurzelsystem durch ein wunderbar zweckmäßiges Verhalten im höchsten Grade ausgenützt.

Beobachtet man diese Bodenerschließung beispielsweise an einer keimenden Bohne oder Eiche, so findet man, daß die erstarkende Keimwurzel sofort senkrecht in immer größere Tiefen hinabgeht. Aus dieser Hauptwurzel, die wie ein Pfahl in den Boden eingetrieben wird, brechen dann Seitenwurzeln hervor, die entweder wagrecht oder schräg abwärts gerichtet den Boden rings um die Pfahlwurzel durchsetzen. Aus diesen Seitenwurzeln „erster Ordnung“ brechen dann ringsum wieder Seitenwürzelchen „zweiter Ordnung“ hervor, die von den ersteren nach allen Richtungen seitlich ausstrahlen und so die gelassenen Zwischenräume ausfüllen und der Ernährung dienstbar machen. In dieser Weise kann die Verzweigung des Systems noch weiter gehen, so daß in dem ganzen Wurzelbereich einer großen Pflanze auch nicht ein Kubikcentimeter Erde zu finden ist, der nicht von einem Wurzelästchen durchwachsen und ausgebeutet würde. Die Gesamtlänge aller dieser Fasern eines Wurzelsystems erreicht oft erstaunliche Maße.

Nicht alle Pflanzen bilden aber tiefgehende Pfahlwurzeln, wie Eiche, Weißtanne, rote Rübe, Luzerne u. v. a.; andere Gewächse beschränken sich mehr darauf, die oberflächlichen Bodenschichten mit einem seitlich reich verzweigten Wurzelsystem auszubeuten (z. B. Kiefer, Getreidearten). Die Land- und Forstwirtschaft müssen darauf ebenso Rücksicht nehmen, wie auf das unbehinderte Gedeihen des oberirdischen Verzweigungssystems: Pflanzen, welche verschiedene Bodenschichten ausnutzen, lassen sich ohne großen Nachteil nebeneinander und nacheinander in demselben Boden kultivieren. Zur Bepflanzung der öffentlichen Wege an Feldern wird man aus gleichem Grunde z. B. die tiefgehende Rüster der flach ihre Wurzeln ausbreitenden Pappel vorziehen müssen.

Ganz besonders tief pflegen nach den Beobachtungen von VOLKENS die Wurzeln von Wüstenpflanzen vorzudringen, welche sich in jenen Tiefen, wo sie Wasser finden, erst reichlich verzweigen.

Zu der Durchsetzung des Bodens mit Wurzelfasern kommt die noch ausgiebigere und vor allem viel innigere Erschließung durch Wurzelhaare hinzu. Diese stehen äußerst zahlreich, dicht beieinander und von der

Wurzeloberfläche ringsum gerade ab, durchdringen die engsten Bodenkanälchen, umspinnen die kleinsten Bodenteilchen und legen sich ihnen so innig an, daß sie förmlich mit ihnen verwachsen (bezw. verklebt) erscheinen (vgl. Fig. 181). Obwohl nur eine mittlere Zellenstärke im Durchmesser erlangend und dem freien Auge nur als feine glänzende Linien erscheinend, erreichen die Wurzelhaare doch oft mehrere Millimeter Länge, so daß sie die wasseraufnehmende Oberfläche einer Wurzel sehr wesentlich vergrößern. (Bei Pisum, wo etwa 230 Haare auf dem Quadratmillimeter stehen, wird nach F. SCHWARZ die behaarte Wurzeloberfläche durch sie auf das Zwölffache vergrößert.)

Es ist bemerkenswert, daß die Wurzelhaare nur eine verhältnismäßig kurze Zone hinter der fortwachsenden Wurzelspitze bedecken. Kurze Zeit schon, nachdem sie ihre größte Länge erreicht haben und mit den Bodenteilchen an ihrer Spitze in engste Berührung getreten sind, sterben sie wieder ab. Die Wurzelepidermis erscheint dann wieder nackt (Fig. 182). Die älteren Wurzelteile, zumal auch die der mehrjährigen Gewächse, beteiligen sich später nicht mehr unmittelbar an der Aufnahme des Nährwassers; sie umhüllen sich mit Kork, vermehren durch Dickenzuwachs ihre Leitungsbahnen und dienen dann fast ausschließlich der Fortleitung des aus den jüngeren Wurzelteilen ihnen zuströmenden Wassers. An diesen jungen Teilen beschränkt sich die Aufnahme des Nährwassers vornehmlich auf die behaarte Region oder bei unbehaarten Wurzeln auf eine entsprechend gelegene Zone.

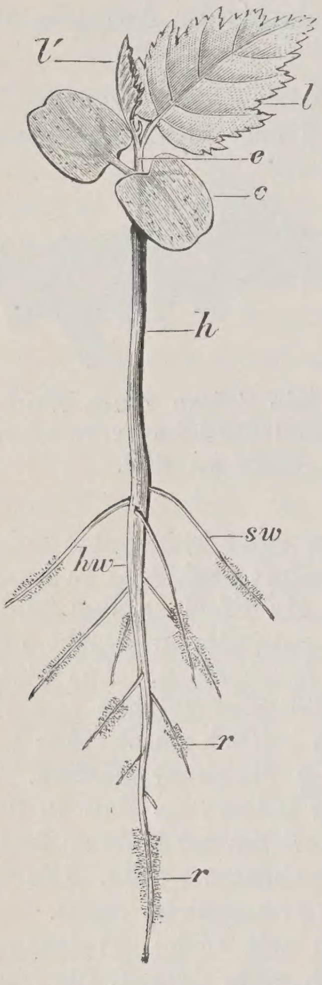


Fig. 182. Keimpflanze der Weißbuche, Carpinus Betulus. Bei *r* nahe den Wurzelspitzen die Region der Wurzelhaare.

Die innige Verbindung der jüngsten Würzelchen mit dem Boden gestattet ihnen selbst die äußerst dünnen Wasserhüllen sich noch nutzbar zu machen, welche so fest an den Bodenteilchen anhaften, daß der Boden unserem Auge und Gefühl schon trocken erscheint. Die letzten Prozente werden aber von dem Boden derart festgehalten, daß sie ihm auch von den Wurzeln nicht mehr entzogen werden können. So fand SACHS, daß eine Tabakpflanze in einer Ackererde 12 %, in einem Lehmboden 8 % und in gröberem Sande $1^1/_2$ % Wasser zurückließ. Selbst hartgefrorenem Boden oder Eisblöcken vermag dagegen die Pflanzenwurzel noch gewisse Mengen Wasser zu entziehen.

Die Absorptionskraft des Bodens beruht teils auf chemischen Bindungen und Umsetzungen, zum Teil aber auch wohl auf physikalischen Bindungen (durch Oberflächenkräfte). Die im Boden stattfindenden Umsetzungen haben zur Folge, daß vornehmlich Kali- und Ammoniaksalze sowie auch Phosphate festgehalten werden, indem erstere schwer lösliche Silicate oder Doppelsilicate bilden, während die Phosphorsäure hauptsächlich durch Kalk oder Eisen gebunden wird. Magnesia- und Kalksalze werden dagegen nur wenig absorbiert; sie unterliegen, gleich den Chloriden, den sehr wichtigen Nitraten und z. T. auch den Sulfaten, stark der Auslaugung. So kommt es, daß von aufgegossener Kalisalpeterlösung das Kali im Boden gebunden bleibt, während Kalknitrat dafür in Lösung geht.

Eine gewisse Rolle bei den Umsetzungen im Boden spielen einerseits auch die Humus-

säuren, andererseits die Bodenbakterien, denen z. T. starke oxydierende oder reduzierende Wirkungen innewohnen. (Vgl. S. 150.)

Die Bodenabsorption, welche übrigens keine absolute ist und in verschieden zusammengesetzten Böden verschieden ausfällt (Sandboden absorbiert schlecht), wirkt sehr nützlich durch Aufspeicherung von Nährstoffen, die rasch in größeren Mengen angesammelt und dann allmählich in kleinen Gaben an die Pflanzen ausgeliefert werden können.

Als wasserhaltende Kraft wird die Fähigkeit des Bodens bezeichnet das Wasser, vornehmlich capillar, festzuhalten. Der von Sachs untersuchte Ackerboden hielt 46 %, der Lehm 52 %, der Sand nur 21 % Wasser auf diese Weise fest.

Die jungen Wurzeln, zumal aber die Haare, scheiden außer der ausgeatmeten Kohlensäure, welche zur Aufschließung des Bodens jedenfalls mit beiträgt, oft noch stärkere Säuren oder saure Salze aus, welche sonst unlösliche Mineralstoffe lokal auflösen. Polierte Gesteinsplatten, wie Marmor, werden von den darüber wachsenden Wurzeln so angeätzt, daß die Ätzfiguren ein genaues Bild des Wurzelverlaufs darstellen. Daß die ätzende Substanz saueren Charakters ist, erkennt man außerdem aus der Rötung von Lackmuspapier, welches mit Wurzeln in Berührung kommt.

Das vom Wurzelsystem aufgesuchte und durch dessen chemische Tätigkeit an gelösten Bestandteilen noch bereicherte Nährwasser wird in die Epidermis aufgenommen und durch die Zellen der Wurzelrinde und die Endodermis hindurch dem Centralcylinder der Wurzel zugeführt.

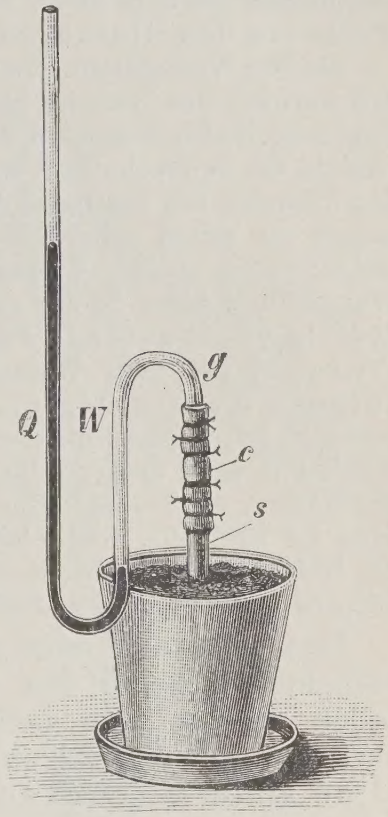


Fig. 183. Kräftige Ausscheidung von Wasser aus einem bewurzelten Stumpf der Georgine (Dahlia variabilis) durch Wurzeldruck. Auf den glatt abgeschnittenen Stumpf *s* ist mittels Kautschukschlauchs *c* das gebogene Glasrohr *g* aufgesetzt. Das aus der Erde durch die Wurzel aufgenommene Wasser *W* wird so kräftig ausgepreßt, daß es den Druck der Quecksilbersäule *Q* überwindet.

Die Bewegung des Wassers im Pflanzenkörper. I. Der Blutungsdruck der Wurzeln. Welche Ursachen die Richtung und Stärke der Wasserbewegung durch die lebendigen und mit Wasser prall gefüllten Zellen der Wurzelrinde nach dem Gefäßbündel hin bedingen, das ist noch nicht ganz aufgeklärt. Die Tatsache selbst, daß das Wasser in die Gefäßbündel eintritt, unter Umständen sogar durch namhafte Druckkräfte hinein gepreßt wird, läßt sich aber unzweifelhaft und leicht feststellen. Schneidet man nämlich eine starke Staude dicht über der Erde am sogen. Wurzelhals ab und beobachtet die Schnittfläche, die zunächst abgetrocknet wurde, mit einer Lupe, so sieht man nach einiger Zeit aus den Gefäßbündeln, und zwar nur aus dem Gefäß- oder Holzteil derselben, Wasser hervorkommen; die Wunde „blutet". Bei genauem Beobachten läßt sich feststellen, daß das Wasser lediglich aus den Gefäßen und Tracheïden selbst hervorquillt. Besonders reichlich ist der Wasseraustritt, wenn die Erde feucht und warm erhalten wird; er dauert dann oft mehrere Tage an und das ausgeschiedene Wasser beträgt unter Umständen bis zu einem halben Liter und mehr. Es ist dies aber kein reines Wasser, sondern es hinterläßt beim Verdampfen reichlich sowohl anorganische als auch organische Rückstände.

Setzt man auf den Wurzelstumpf eine hohe Glasröhre mittels eines dicht schließenden Kautschukrohres auf, dann wird das ausgestoßene Wasser bis zu beträchtlicher

Höhe darin hinaufgepreßt. Wie groß dabei die Druckkräfte sind, welche das Wasser aus den Gefäßen und Tracheïden pressen, läßt sich leicht feststellen, wenn man ein Manometer auf den Stumpf aufsetzt (Fig. 183). Die Quecksilbersäule desselben wird dann bei gewissen Pflanzen bis zu 50 und 60, unter günstigen Bedingungen aber bis zu 140 Centimetern und weit höher emporgedrückt. Es sind das Druckkräfte, welche eine Wassersäule bis zu 6, 8 und 18 Metern zu heben vermöchten. Da die lebendigen Zellen, welche diesen Blutungsdruck zu stande bringen, über weit höhere Turgorkräfte verfügen, so liegt in den beobachteten Druckhöhen keine überraschende Leistung vor(22).

Beobachtet man statt der Druckwirkung die stündliche Ausflußmenge, dann läßt sich die merkwürdige Tatsache feststellen, daß die Wurzel vieler Pflanzen täglich zu bestimmten Stunden mehr, zu anderen Stunden regelmäßig weniger Wasser ausscheidet (Perioden des Blutungsdrucks).

Da der Wurzeldruck über so namhafte Kräfte verfügt, so hat man einmal geglaubt, den Auftrieb des Wassers bis in die Krone hoher Bäume durch ihn erklären zu können. Folgende Wahrnehmungen schließen diese Möglichkeit aber aus: Bei vielen Pflanzen erreicht der beobachtete Wurzeldruck nur sehr geringe Höhe oder fehlt ganz. Auch bei den Pflanzen mit kräftigem Wasserauftriebe ist die vom Wurzeldruck gelieferte Wassermenge zu zeiten erheblich geringer als die bei der Transpiration verbrauchte. Bei einigermaßen starker Transpiration, wie sie an einem Sommertag herrscht, kommt der Wurzeldruck daher in der geschilderten Weise überhaupt nicht zur Geltung. Wird eine kräftig verdunstende Pflanze am Wurzelstumpf abgeschnitten, so tritt aus demselben zunächst gar kein Wasser hervor, im Gegenteil, der Stumpf saugt dargebotenes Wasser begierig in sich auf. Erst dann, wenn er selbst mit Wasser gesättigt ist, beginnt die Auspressung des Überschusses. Im Freien kommt der Wurzeldruck nur dann in der Pflanze zur Geltung, wenn bei feuchter kühler Luft, wie zumal des Nachts, die Transpiration sehr vermindert ist. Am günstigsten liegen die Umstände dazu im Frühjahr, wenn bei beginnender Wurzeltätigkeit und höchstem Wassergehalt des Holzes das transpirierende Laub noch nicht entfaltet ist. Bei Verletzungen des Holzkörpers quillt dann der „Saft“ aus Gefäßen und Tracheïden in Tropfen hervor.

Das „Bluten“ oder „Tränen“ beschnittener Bäume und Sträucher ist vornehmlich durch den Blutungsdruck der Wurzel verursacht, die Wurzelzellen werden aber auch von den lebendigen Zellen des Stammes (Holzparenchym, Markstrahlen) unterstützt. Denn auch die lebendigen Zellen aller anderen Organe sind wie die der Wurzel unter Umständen zur Auspressung von Blutungswasser befähigt. Neben einer Überfülle von Wasser können Wundreize oder Heilprozesse bei der Erscheinung bedingend oder doch fördernd mitwirken, wie MOLISCH sowohl an Blütenständen von Palmen wie an Bohrlöchern einheimischer Bäume feststellte. Aus dem Überwallungsgewebe der letzteren werden zwar nur geringe Saftmengen, aber unter Drucken bis zu 9 Atmosphären abgegeben. Bei Schizolobium excelsum auf Java fand FIGDOR einen Druck von 8 Atmosphären(23). Der durch den „Blutungsdruck“ ausgepreßte „Blutungssaft“ führt außer mineralischen Salzen zuweilen erhebliche Mengen von organischen Substanzen (gelöste Eiweißstoffe, Asparagin, Säuren, besonders aber Kohlehydrate) mit sich; bei einigen Pflanzen ist der Zuckergehalt dieses Saftes so groß, daß Zucker technisch daraus gewonnen werden kann (der Zuckerahorn Nordamerikas mit $^1/_2$ % Zucker im Safte liefert ca. 2—3 Kilo von einem Baum) oder dieser Saft gleich Most oder Biermaische zu berauschenden Getränken vergoren wird. (Birkenwein, Palmwein; die „Pulque“ der Mexikaner aus dem Schafte blühreifer Agaven, wobei ein einzelner Schaft in 4—5 Monaten an 1000 Liter Saft ausscheiden kann.)

Auf wesentlich anderen Ursachen beruht es, wenn mitten im Winter an wärmeren Tagen, besonders bei Sonnenschein, Wasser aus Bohrlöchern oder andern frischen Holzwunden von Bäumen austropft. Da liegt eine rein physikalische Erscheinung vor, welche durch die Wärmeausdehnung der Luftblasen im Holz verursacht ist und welche bei jedem winterlich frisch abgeschnittenen wasserreichen Holzstück, das man in den Ofen

legt, beobachtet werden kann. Bei entsprechender Abkühlung wird die ganze Menge dieses Wassers natürlich wieder eingesogen.

Bei einzelnen Lianen besitzen die Gefäße solche Weite, daß sie das Wasser capillar nicht festzuhalten vermögen und daß beim bloßen Abschneiden der Stämme trinkbares Wasser in ansehnlicher Menge, allein infolge seines Gewichtes, ausfließt.

II. Die Wasserbahnen in der Pflanze. In den lebendigen Geweben einer Pflanze, deren Zellen zeitweise mehr oder weniger Wasser zu ihrem Wachstum, zur Erhaltung oder Steigerung ihres Turgors und zum Ersatz ihrer Wasserverluste benötigen, finden ständig kleine Wasserbewegungen statt. Dieser Wasseraustausch zwischen konkurrierenden Zellen erfolgt aber viel zu langsam, um die ansehnlichen Verdunstungsverluste ausgedehnter und hoch über dem Boden entfalteter Laubflächen zu ersetzen. Um das Wasser aus den Wurzeln rasch und in großen Mengen zu den Laubflächen zu befördern, bedient sich die Pflanze nicht des lebendigen Parenchyms, sondern ihrer Gefäßbündel und zwar des Gefäß- oder Holzteils derselben. Die Zellelemente, in welchen das Wasser sich hier bewegt, besitzen kein lebendiges Plasma mehr.

III. Der Transpirationsstrom. Daß sich der als Transpirationsstrom bezeichnete ausgiebige Wasserstrom bei holzführenden Pflanzen lediglich im Holzkörper bewegt, ist eine schon lang bekannte Tatsache, die sich aus der Beobachtung ergab, daß Pflanzen, bei denen absichtlich oder durch Zufall die Rinde bis zum Holzkörper entfernt worden war, sich trotzdem frisch erhielten. Die nebenstehende Abbildung, einem der ersten Bücher entnommen, welche die Lebensvorgänge in Pflanzen exakt behandelten (Essays of vegetable statics von Steph. Hales 1727), zeigt einen dies beweisenden Versuch. An dem Aste *b* (Fig. 184) sind bei *z* alle Gewebe bis auf den dünnen Holzkörper fortgenommen worden. Daß trotzdem die Blätter dieses Astes eben so frisch bleiben wie die des andern Astes *c*, beweist, daß der Transpirationsstrom nicht durch die Rinde, sondern durch den Holzkörper sich bewegt. Entfernt man dagegen aus einem Zweige sorgfältig eine Strecke weit den Holzkörper und läßt die Rinde im Zusammenhang, so welken die Blätter über der Operationsstelle so rasch wie an einem völlig abgeschnittenen Zweige. In krautigen Pflanzen besorgt der Gefäßteil der Gefäßbündel die Wasserleitung.

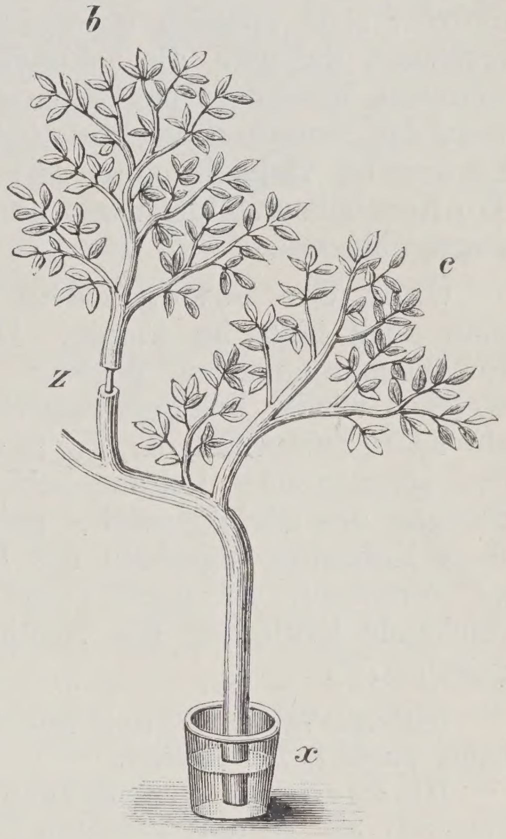


Fig. 184. Hales' Versuch, das Saftsteigen im Holze demonstrierend. Bei *Z* wurde der Holzkörper von der Rinde entblößt; trotzdem bleiben die Blätter des Zweiges *b* ebenso frisch wie die des unverletzten Zweiges *c*; *x* ein Gefäß mit Wasser. Faksimile aus Hales: Vegetable Statics 1727.

Eine verdünnte Lösung von Lithiumsalpeter, die man in der unverletzten Pflanze aufsteigen läßt, bewegt sich, wie man spektralanalytisch nachweisen kann, zunächst ausschließlich im Holzkörper, bevor sie von da in die anderen Gewebe seitwärts eintritt. Mit Hilfe dieser Lösung haben Mac Nab, Pfitzer und Sachs auch die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes festgestellt; je nach der Pflanze und den äußeren Transpirationsbedingungen ist dieselbe verschieden groß, erreicht unter Umständen nahezu 1 m und kann bis zu 2 m und mehr in der Stunde betragen. — Die vorerst ausschließ-

liche Färbung des Holzkörpers, welche bei dem Aufsteigen von Farbstofflösungen beobachtet wird, kann die ausschließliche Beteiligung des Holzes an der Leitung des Transpirationsstromes wegen der verschiedenen Färbbarkeit der Gewebe nicht einwurfsfrei beweisen und vermag ebensowenig zur Bestimmung der maximalen Geschwindigkeit des Transpirationsstromes zu dienen, weil der Farbstoff der Lösung entzogen und dabei zurückgehalten wird. Doch läßt sich mit Hilfe aufsteigender geeigneter Farbstoffe, welche das Holz färben, die aus anderen Versuchen bekannte Bahn des Transpirationsstromes deutlich hervorheben. (Stengel der Impatiens parviflora, panachierte Maisblätter, weiße Blütenblätter von Tulpen, Camellien, Rosen, Philadelphus u. a.)

Entsprechend dieser Aufgabe der Gefäßteile findet man sie in Wasserpflanzen und Succulenten, in denen die Transpiration fehlt bezw. nur schwach auftritt, sehr spärlich entwickelt. Die höchste und massigste Ausbildung erreichen dagegen die sekundären Gefäßteile als Holzkörper in den Landpflanzen, besonders bei Bäumen mit starker Belaubung. Es ist freilich nicht mehr das gesamte Holz eines dicken Stammes, welches der Wasserleitung dient; letztere ist vielmehr stets auf die jüngsten Jahresringe beschränkt. Wo Kernholz gebildet wird, ist dieses unter allen Umständen von der Leitung ausgeschlossen.

Über die bewegenden Kräfte des Transpirationsstromes ist man noch nicht im klaren. Die Transpiration schafft vor allem den Platz für nachkommendes Wasser. Durch Entfernung von Imbibitionswasser, welches wieder aus dem osmotisch wirksamen Zellinnern ersetzt wird, macht sie auch tatsächlich Kräfte frei, die auf ein Nachrücken von Wasser aus den angrenzenden Leitungsbahnen hinwirken. Ob aber diese vorerst geringe Störung des Gleichgewichts genügt, um die Wassermassen unter Mitwirkung ihrer Kohäsion innerhalb des Holzes auf weite Entfernungen in Bewegung zu versetzen, ist noch zweifelhaft. — Eine allseitig anerkannte, ausreichende Erklärung des vielumstrittenen Problems ist bis heute noch nicht gegeben (24).

Daß der Wurzeldruck den Auftrieb während der Transpiration nicht besorgen kann, wurde S. 160 erörtert.

Diosmotische Strömungen verlaufen zu langsam, um hier in Betracht zu kommen, und es fehlt außerdem die für eine solche Bewegung notwendige bestimmte Verteilung osmotisch wirksamer Stoffe.

Auf Capillarität kann der Transpirationsstrom auch nicht beruhen. Erstens fehlen die zusammenhängenden Capillaren in Nadelhölzern beispielsweise vollständig, in anderen Pflanzen sind sie nur auf verhältnismäßig kurzen Strecken gegeben. Zweitens stehen den konkaven Menisken im Holzkörper keine flacheren oder gar konvexen Wasserflächen gegenüber, wodurch erstere doch nur wirksam werden könnten. Auch würde die capillare Steighöhe, die in Gefäßen und Tracheïden noch geringer ist als in gleich engen Glasröhren, nicht entfernt an die Höhe eines mittelgroßen Baumes hinanreichen; im übrigen nimmt die Bewegung capillar gehobener Flüssigkeit mit zunehmender Steighöhe so rasch ab, daß eine ausgiebige Bewegung schon aus diesem Grunde nicht möglich wäre.

Auch der Luftdruck ist nicht die Kraftquelle der Transpirationsströmung. Zwar enthalten die Gefäße und Tracheïden lebhaft transpirierender Pflanzen neben kurzen Wassersäulchen verdünnte Luft, wie das Eindringen von Quecksilber in dieselben beweist, wenn unverletzte verdunstende Pflanzen unter Quecksilber durchschnitten werden. Da die Wasserbahnen aber ringsum gegen die Atmosphäre fest abgeschlossen sind, so kommt der äußere Luftüberdruck in diesem System gar nicht zur Geltung. Die Luftverdünnung innerhalb der Pflanze läßt aber auch keine solche Verteilung erkennen, die zu einer kontinuierlichen Wasserströmung Anlaß geben könnte. Wenn man außerdem daran denkt, daß der volle Atmosphärendruck einer Wassersäule von nur etwa 10 Metern das Gleichgewicht halten kann, daß das Wasser aber auch in die Kronen von über 100 m hohen Wellingtonien und von 150 m hohen Eucalypten leicht hinaufsteigt

und daß Zweige einer starken Saugung entgegen Wasser aufzunehmen vermögen (vgl. unten), so wird man die ganze Unzulänglichkeit des Luftdrucks übersehen.

Dem gasförmigen Aufsteigen in den Hohlräumen und der darauf folgenden Kondensation in den Blättern steht sowohl der anatomische Bau des Holzes, die Unterbrechung der Hohlräume durch Wassersäulchen wie auch die Temperaturverteilung in der Pflanze im Wege. Aber ganz abgesehen davon, wäre auch die eigentliche Aufgabe des Transpirationsstromes, die Beförderung der Nährsalze, auf diesem Wege nicht zu erfüllen.

Es lag bei alledem nahe, an eine Mitwirkung der lebendigen Zellen zu denken, welche in dem Holzkörper überall verteilt sind, die auch allerorts über namhafte osmotische Druckkräfte verfügen und zudem eine regulatorische Reizbarkeit in den Dienst dieser Funktion stellen könnten. STRASBURGERS Versuche, welche ergaben, daß selbst die giftigsten Lösungen, die sofort alles lebendige Plasma abtöten, tagelang in großer Menge bis in die obersten Gipfel hoher Bäume befördert werden, schließen aber auch die Mitwirkung dieser lebendigen Elemente bei dem Transpirationsstrom wohl endgültig aus.

In neuerer Zeit suchten JOLY, DIXON und ASKENASY die unmittelbare Fortpflanzung der Transpirationssaugung bis zu den entferntesten Wurzelspitzen durch die Kohäsion des Wassers zu erklären. Die Tatsache, daß in den Wasserbahnen Luft- und Dampfblasen vorhanden sind, und der Umstand, daß eine Bewegung des Wassers seine gegen Zug sehr widerstandsfähige Kohäsion unter Umständen aufhebt (25), machen dieser Theorie u. a. vorläufig noch Schwierigkeiten.

Die neueren Untersuchungen haben übereinstimmend zu der Erkenntnis geführt, daß sich der Transpirationsstrom vorwiegend in den Hohlräumen der Holzelemente und zwar innerhalb der Gefäße und Tracheïden bewegt.

IV. Die Saugkraft transpirierender Sprosse. Ein abgeschnittener und mit der Schnittfläche in Wasser gestellter Sproß zeigt durch sein Frischbleiben an, daß er das Wasser bis in seine obersten Zweigspitzen zu heben vermag. Die Saugkraft des Laubsprosses ist mit dieser Leistung aber noch nicht erschöpft: Luftdicht mit einem langen wassergefüllten Rohre verbunden, vermag ein solcher Sproß leicht eine Wassersäule von 2 Metern und mehr emporzusaugen. Wird das untere Ende des Rohres in Quecksilber gebracht, dann wird selbst das schwere Quecksilber von dem transpirierenden Sproß bis zu ansehnlicher Höhe emporgehoben. Kräftige, sonst unverletzte Koniferenzweige nehmen sogar unter der Saugung einer vollen Atmosphäre Wasser durch die Schnittfläche auf, sind also im stande, das Quecksilber bis zu Barometerhöhe, mit Hilfe der Kohäsion des Wassers auch noch höher (bis zu 920 mm) zu heben, ohne dabei zu welken. Bedingung für eine solche Betätigung der Saugung ist natürlich ein luftdichter Abschluß der Wasserbahnen, der in der Pflanze tatsächlich gegeben ist (26).

Die Abgabe des Wassers. Wie erwähnt, wird der die Nährsalze zuführende Wasserstrom nur dadurch in seiner Stärke unterhalten und ermöglicht, daß der Pflanzenkörper andererseits ständig Wasser verliert. Die Ausscheidung von Wasser aus der Pflanze erfolgt aber auf zweierlei Weise: durch Verdunstung und durch Ausstoßung in tropfbar flüssigem Zustande. Die gasförmige Ausscheidung durch die Spaltöffnungen und Zellwände hindurch, die Transpiration, ist für Landpflanzen das ergiebigste Ausscheidungsmittel. Seltener und auch weniger leistungsfähig tritt die Tropfenausscheidung hinzu.

I. Die Transpiration. In der Umhüllung mit Kork, Cuticula und Wachs stehen der Pflanze sehr wirksame Mittel gegen Wasserverluste zur Verfügung. Eine mit dicker Cuticula und Wachs überzogene Kürbisfrucht erleidet selbst nach monatelangem Abtrennen von der Mutterpflanze keine erheblichen Wasserverluste, und ebenso verhält sich eine von dünner Korkschicht umhüllte Kartoffelknolle oder ein Apfel. Die grünen Ernährungsorgane sollen zur Koncentrierung der Nährsalze aber Wasser verdunsten; deshalb machen sie von solchen Einrichtungen nur wenig Gebrauch, sie

werden vielmehr mit Einrichtungen ausgestattet, welche die Verdunstung fördern.

Sämtliche Zellhäute lebender Organe sind mit Wasser durchtränkt, und wenn die Cuticularschichten der Oberhaut nicht zu stark entwickelt sind, so verdunstet aus den Oberhautzellen stets etwas Wasser. Die Menge desselben ist natürlich um so größer, je größer die verdunstenden Flächen sind. In der flachen Ausbreitung der Laubblätter liegt demnach eine Einrichtung vor, welche die Transpiration begünstigt. Die größte Förderung erfährt die Verdunstung aber durch die zahllosen Spaltöffnungen (Luftspalten), welche die Epidermis durchsetzen und welche den Wasserdampf, von dem die Luft der Intercellulargänge nahezu gesättigt ist, auch aus dem Innern der Pflanze ungehindert austreten lassen. Diese Spalten besitzen zwar eine sehr geringe Weite (0,0006 mm und weniger), sind aber in so ungeheuerer Zahl vorhanden (vgl. S. 86) und außerdem so zweckmäßig angeordnet, daß dadurch ihre Kleinheit in der Gesamtwirkung wieder ausgeglichen wird. Ein einziges mittelgroßes Kohlblatt (Brassica oleracea) ist mit ca. 11 Millionen, ein Blatt der Sonnenrose (Helianthus

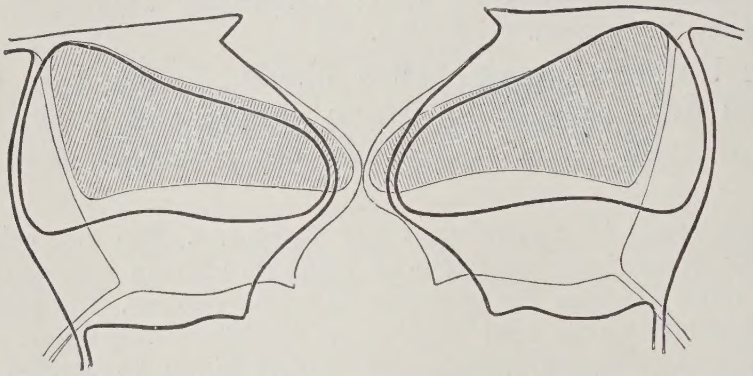


Fig. 185. Spaltöffnung von Helleborus spec. im Querschnitt. Die dicken Linien zeigen die Form der Schließzellen bei geöffnetem Spalt, die feineren Linien bei geschlossenem Spalt. (Nach SCHWENDENER.) Der Hohlraum der Zellen im geschlossenen Zustand wurde hier schraffiert; er ist sichtlich kleiner als bei geöffneten Schließzellen.

annuus) mit ca. 13 Millionen Luftspalten versehen, so daß, bei den besonderen Diffusionsverhältnissen durch siebartig fein durchlöcherte Membranen (vgl. S. 177), eine sehr ausgiebige Verdunstung ermöglicht ist.

In den Luftspalten besitzt die Pflanze zudem eine Vorrichtung, um die Verdunstung zu regulieren. Die Spalten, welche die Ausmündungen der Intercellularräume bilden, sind von zwei Schließzellen umgeben (S. 85). Wie der Name „Schließzellen“ schon andeutet, vermögen dieselben den Spalt zwischen sich zu verschließen und dadurch die Verdunstung erheblich einzuschränken. Das Schließen und Öffnen des Spaltes erfolgt durch Turgoränderungen in den Schließzellen oder den benachbarten Epidermiszellen. Vermöge der eigenartigen Wandverdickungen, der Elastizität und seitlichen Anheftung der Schließzellen führen Turgorschwankungen in denselben nämlich zu Gestaltsveränderungen, derart, daß eine Steigerung der Turgescenz die Zellen höher, eine Verminderung des Innendruckes sie aber flacher werden läßt. Der erste Vorgang hat demgemäß das Öffnen, der zweite den Verschluß des Spaltes zur Folge, wie das aus der obenstehenden Abbildung Fig. 185 ohne weiteres hervorgeht.

Die sogen. Nebenzellen (S. 86) der Schließzellen greifen bei manchen Pflanzen in diese Arbeitsleistung in verschiedener Weise ein. Das Öffnen und Schließen des Spaltes erfolgt auf äußere wie auf innere Einwirkungen hin; dabei arbeiten aber die Spaltöffnungsapparate bei verschiedenen Pflanzenarten keineswegs immer in der gleichen

Weise, im großen und ganzen aber doch so, daß sie sich bei eintretendem Wassermangel (noch vor Eintritt sichtbaren Welkens) oder bei Eintritt der Nacht zu schließen beginnen, sich dagegen öffnen, wenn eine lebhafte Transpiration für die Pflanze von Vorteil ist (im Licht, warmer feuchter Luft usw.). Auch die Quantität und Qualität der im Transpirationswasser gelösten Stoffe wirkt, wie auch die Natur der umgebenden Gase, auf die Öffnungsweite der Spalten ein. Ihre Weite und mit ihr die Verdunstung vermindert sich, wenn mit dem Transpirationsstrom mehr Nährsalze als gewöhnlich zugeführt werden und deren Koncentration in schädlicher Weise zunehmen könnte. So feinfühlig ist der Apparat in verschiedener Abstufung aber nur bei Landpflanzen. Bei Sumpf- und Wasserpflanzen reagiert er aus leicht begreiflichen Gründen weniger prompt(27).

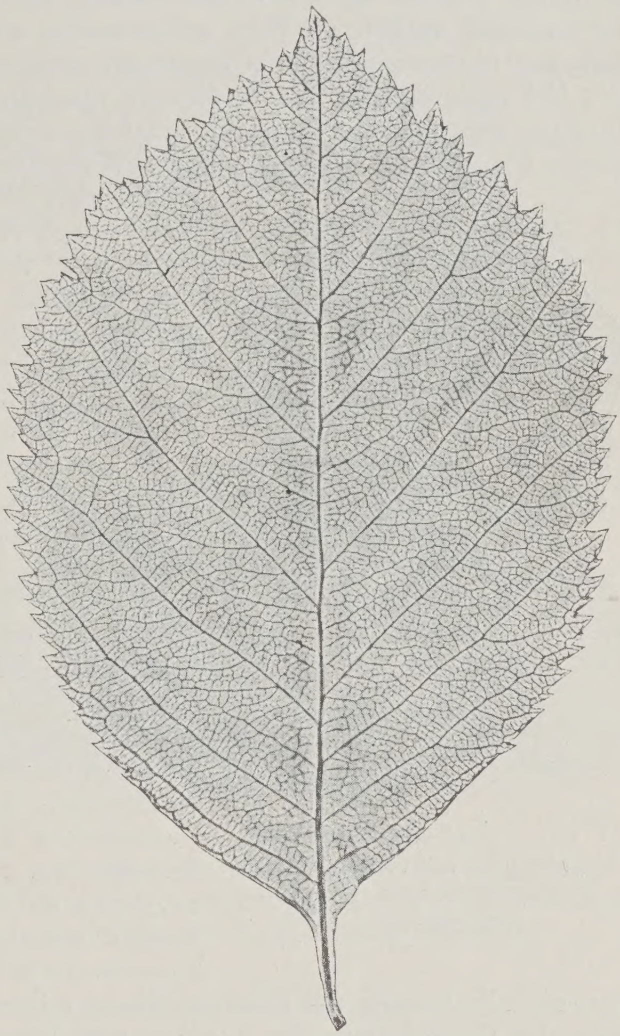


Fig. 186. Gefäßbündelverlauf (Nervatur) in dem Blatte einer Crataegus. Lichtdruck in nat. Gr.

Es wurde bereits im morphologischen Teil darauf hingewiesen, daß die Spaltöffnungen vorzugsweise auf den Blattflächen zu finden sind; die Blätter sind demnach geradezu als Organe der Transpiration (und Assimilation S. 172) zu betrachten. Dies lehrt auch die außerordentlich reiche Verzweigung der wasserführenden Bahnen in den Blattflächen. Wie sich nämlich der dicke Röhrenstrang einer Wasserleitung an dem Verbrauchsorte in ein Netz kleiner Röhrenzweige auflöst, so verzweigen sich auch die Gefäßbündel, die unverzweigt durch den Stengel liefen, sobald sie in die Blattspreite eintreten. Die beigegebene Abbildung Fig. 186 stellt die Nervatur, d. h. den Gefäßbündelverlauf in einem Crataegusblatte dar, wobei die feinsten Auszweigungen, die nur mikroskopisch sich verfolgen lassen, nicht einmal wiedergegeben sind. Durch dieses Zuleitungssystem kann jedem Quadratmillimeter das Nährwasser reichlich und unmittelbar aus den Wurzeln zugeführt werden. Daß aber gerade die Blätter so reichlich damit versorgt werden, das hat seine bestimmte Ursache. Die Blätter sind nämlich die Laboratorien der Pflanze, in welchen aus der Kohlensäure der Luft, aus Wasser und den Nährsalzen des Bodens die organischen Baustoffe dargestellt werden; deshalb findet hier auch die gleichmäßige Ausbreitung und die geförderte Eindampfung des Nährwassers statt. Die Leistungen der Blätter im Verdunsten des Wassers sind denn auch geradezu überraschend. Eine kräftige Staude, beispielsweise eine Sonnenrose von Manneshöhe, verdunstet an einem hellen Tage über ein Liter Wasser. Man hat berechnet, daß ein Morgen mit Kohlpflanzen in vier Monaten zwei Millionen Liter, ein solcher mit Hopfen drei bis vier Millionen Liter Wasser verdunstet. Für eine einzeln stehende Birke mit etwa 200000 Blättern berechnete von Höhnel

das verdunstete Wasser an einem heißen trocknen Tage auf ca. 500 Liter, im Durchschnitt auf 60—70 Liter. Ein Hektar Buchenhochwald verdunstet im Durchschnitt 30000 Liter täglich (28).

Auf je 100 g Blattsubstanz berechnet, verbraucht in einer Vegetationsperiode die Rotbuche 75 Liter, die Tanne aber nur 7 Liter. Im Durchschnitt muß nach DIETRICH eine Pflanze für jedes Gramm Trockensubstanz, das sie bildet, 250—400 g Wasser verdunsten.

Transpirationsversuche. Die Verdunstung der Pflanzen, welche sich, so lange kein Welken eintritt, unserer unmittelbaren Wahrnehmung entzieht, läßt sich mit einfachen Hilfsmitteln nachweisen und in ihrer Größe bestimmen. Zunächst ist das möglich durch Benutzung der Wage, welche den durch die Verdunstung entstehenden Gewichtsverlust angibt. — Wird andererseits der transpirierende Pflanzenteil luftdicht in einen geschlossenen Raum (Glasglocke) eingeführt, in dem koncentrierte Schwefelsäure oder Chlorcalcium die Wasserdämpfe absorbiert, so hat man umgekehrt an der Volumzunahme oder an der Gewichtszunahme dieser Substanzen ein Maß für das von der Pflanze abgegebene Wasser. — Der Wasserverbrauch einer Pflanze läßt sich aber auch unmittelbar sehen, wenn man das aufzunehmende Wasser einer engen Röhre entziehen läßt. Schon bei geringem Verbrauch verschiebt sich der Wasserstand in einer solchen Röhre ganz bedeutend und zwar um so schneller, je enger dieselbe ist. Ein entsprechend zusammengestellter Apparat (Potetometer) kann daher den Wasserverbrauch eines transpirierenden Zweiges sehr anschaulich vorführen.

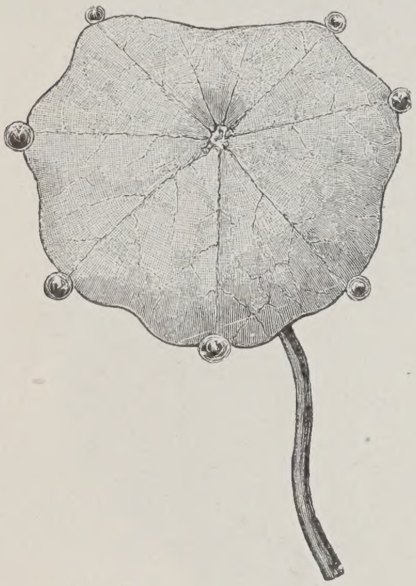


Fig. 187. Ausscheidung von Wassertropfen aus einem Blatte der Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus).

Sehr einfach läßt sich nach STAHL die maßgebende Rolle der Spaltöffnungen für die Transpiration durch die Kobaltprobe zeigen. Diese beruht darauf, daß das in wasserfreiem Zustande tiefblaue Kobaltchlorür durch Wasseraufnahme zu hellem Rosa sich entfärbt. Wird ein mit jenem Kobaltsalz getränkter und scharf getrockneter Filtrierpapierstreifen zwischen Glasplatten um ein Blatt gelegt, so entfärbt sich das Papier zunächst nur an der mit Spaltöffnungen besetzten Blattseite und zwar je nach der Öffnungsweite der Spalten schneller oder langsamer. Es kann daher das Kobaltpapier wie auch das seinerzeit von MERGET benutzte Eisenchlorid-Palladiumchloridpapier Verwendung finden, um die Öffnungsweite der Spalten festzustellen. FR. DARWIN benutzte ein feines Hygrometer, um daran die Schwankungen der Spaltöffnungsweite fortlaufend verfolgen zu können. BUSCALIONI und POLLACCI konnten an der Trübung aufgestrichener Kollodiumhäutchen, die alle Details der Blattoberfläche mikroskopisch erkennen lassen, feststellen, daß neben der Verdunstung aus den Spaltöffnungen eine schwache allgemeine Transpiration durch die ganze Oberfläche stattfindet. Diese erreicht ihre höchsten Werte an den Ansatzstellen der radialen Epidermiswände an die Außenwand (29).

Gewisse Pflanzen verdunsten in der Zeiteinheit mehr, andere weniger Wasser, was mit ihrer Flächenentwicklung und ihrer sonstigen feineren Organisation (Zahl und Weite ihrer Luftspalten, Cuticula, Kork, Behaarung) zusammenhängt. Aber auch ein und derselbe Sproß transpiriert nicht immer gleichmäßig; das kommt daher, daß äußere und innere Ursachen nicht nur die Weite der Spaltöffnungen verändern, sondern daß äußere Verhältnisse die Transpiration auch rein physikalisch ebenso beeinflussen wie die Verdunstung eines freien Wasserspiegels. Wärme, Trockenheit und Bewegung der Luft steigern die Verdunstung physikalisch, während Beleuchtung sie physiologisch fördert. Beide Momente wirken zusammen dahin, daß am Tage die Verdunstung im allgemeinen weit stärker ist als des Nachts. Manche Pflanzen, die, wie Impatiens parviflora, an heißen trocknen Tagen leicht welken, werden daher mit dem Eintritt der Nacht wieder frisch.

II. Ausscheidung flüssigen Wassers. Nicht so allgemein wie die Wasserabgabe durch Verdunstung ist die Wasserausscheidung in tropfbar

flüssigem Zustand aus unverletzten Pflanzen. Beobachtet man die Pflanzen einer Wiese oder eines Gartens frühmorgens nach einer regenlosen, aber feuchtwarmen Nacht, dann sieht man an den Spitzen und Rändern der Blätter glitzernde Wassertropfen sitzen, die langsam an Größe zunehmen, abfallen und durch neue kleine Tröpfchen ersetzt werden, die also keine Tautropfen sind, obwohl man sie meist mit solchen verwechselt. Diese Wassertropfen werden aus dem Blatte selbst abgeschieden: Beim Mais nahe der Blattspitze, bei Alchemilla an jedem Blattzähnchen, bei der Kapuzinerkresse an den stumpfen Ecken der Blattfläche, nach denen die sieben Hauptnerven hinlaufen (Fig. 187). Steigt dann später die Sonne höher, wird die Luft wärmer und relativ trockner, dann verschwinden diese Tropfen, können aber auch am Tage alsbald wieder zum Vorschein kommen, wenn man eine Glasglocke über die Pflanzen stülpt oder sonstwie die Verdunstung herabsetzt. Wenn dann die Pflanze durch die Wurzeltätigkeit wieder von Wasser strotzt, wird das Übermaß von neuem in Tropfen ausgepreßt. Diese kommen entweder aus besonderen Wasserspalten (S. 84) hervor, in anderen Fällen jedoch aus gewöhnlichen Spaltöffnungen (Luftspalten),

Fig. 188. Harzhülle vom Stengel einer Wüstenpflanze (Sarcocaulon). Aus SCHIMPER, Pflanzengeogr.

Fig. 189. Raoulia mammillaris von Neuseeland. Polsterförmiger Zusammenschluß der Einzelpflanzen. Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

aus Grübchen der Epidermis, oder werden durch verschieden geformte Haare, bei Datura durch die Wände gewöhnlicher Oberhautzellen hindurch ausgeschieden.

Durch künstliches Einpressen von Wasser in abgeschnittene Sprosse kann man die Tropfenausscheidung an Blättern ebenfalls hervorbringen.

Besonders auffallend ist die Tropfenausscheidung bei manchen großblätterigen Aroideen, an deren Blattspitzen das Wasser oft in kurzen Zwischenräumen (zuweilen jede Sekunde) abtropft, oder wie bei einer Colocasia sogar auf kurze Strecken fortgeschleudert wird; merkwürdigerweise wird bei Spathodea, einer westafrikanischen Bignoniacee, und einigen anderen Pflanzen der vom Kelch umschlossene Hohlraum, in dem sich die jungen Blütenteile entwickeln, ganz mit Wasser angefüllt (30). — Auch an einzelligen Pflanzen, besonders an Schimmelpilzen ist oft eine reichliche Ausscheidung von Wassertröpfchen durch die Zellwand und die in einzelnen Fällen, wie z. B. auch bei Wasserpflanzen, leicht durchlässige Cuticula hindurch wahrzunehmen.

Die an den jungen Organen meist sehr frühzeitig ausgebildeten wasserausscheidenden Organe, welche HABERLANDT unter dem Namen Hydathoden zusammenfaßt (S. 89), pressen zum Teil das Wasser gleich tierischen Schweißdrüsen selbsttätig aus, oder lassen es lediglich durchfiltrieren, wenn

der Blutungsdruck in der Pflanze eine bestimmte Höhe erreicht und die Intercellularräume zu infiltrieren droht.

Die Ausscheidung flüssigen Wassers kann, indem sie auch unter ungünstigen Transpirationsbedingungen (Lathraea) einen Zufluß von Nährwasser aus den wasseraufnehmenden Organen ermöglicht, die Verdunstung in gewissem Sinne vertreten oder ersetzen ([31]). Ihre physiologische Bedeutung für die Pflanze deckt sich aber insofern nicht mit der Transpiration, als bei der Tropfenausscheidung fast immer mineralische oder organische Substanzen mit ausgeschieden werden. Diese Stoffe sind manchmal so reichlich im ausgestoßenen Wasser enthalten, daß sie nach der Verdunstung der Tropfen als kleine Krusten zurückbleiben (Kalkschüppchen der Steinbrecharten).

Fig. 190. Australische Hartlaubpflanze, Acacia marginata, mit Phyllodien. Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

Die mit dem Wasser ausgeschiedenen und in demselben gelösten Stoffe spielen geradezu die physiologische Hauptrolle bei den Aussonderungen der Nektarien, bei den Verdauungsdrüsen der Insectivoren und beim Ausscheiden der klebrigen Narbenfeuchtigkeit. Dadurch, daß die ausgeschiedenen Substanzen das Wasser auch osmotisch aus den Zellen ansaugen, ist die Tätigkeit vom Blutungsdruck unabhängig gemacht. Einzelne Wüstenpflanzen (Reaumuria, Tamarix u. a.) scheiden so stark hygroskopische Salze aus, daß sich ihre Blätter auch in verhältnismäßig trockner Luft, und bei völliger Dürre ringsum, mit zahllosen Wassertropfen bedecken([32]). — Von einzelnen Pflanzen wird überschüssiges Wasser in hohlen Stammgliedern und Blattstielen abgeschieden (Kürbis) und bei Wassermangel aus diesen Reservoiren wieder absorbiert.

Besondere Einrichtungen der Wasserversorgung. In der Verschlußfähigkeit der Spaltöffnungen besitzen die meisten Landpflanzen eine Einrichtung, welche es ihnen ermöglicht die Transpiration bei zeitweiligem Wassermangel zu vermindern. In Gegenden, wo der Wassermangel nicht zu den Ausnahmen gehört, sondern wochen- und monatelang die Regel bildet, wie in Wüsten, Felseinöden und anderen regenarmen Landstrichen, können aber nur Pflanzen ihr Leben fristen, welche entweder ein völliges Austrocknen ohne Schaden ertragen (S. 155), oder welche mit dem spärlich gebotenen Wasser lange Zeit hauszuhalten vermögen (Xerophyten). Das letztere ist nur möglich durch eine äußerste Einschränkung der Verdunstung und durch die Ausbildung von Organen, in welchen ein zeitweiliger Wasserüberschuß für die Zeit der Not aufgespeichert werden kann.

Als Schutzmittel gegen die Verdunstung dienen Kork und starke Cuticularüberzüge, ausnahmsweise auch Harzhüllen (Fig. 188), beschränkte Anzahl und geringe Weite der Spaltöffnungen, deren Verlegung in Höhlen und Einsenkungen, sowie mehr oder minder weitgehende Verstopfung der Spalte durch wachsartige Substanzen. Das Einrollen der Blätter (zumal der mit Luftspalten besetzten Seite), ihre Umhüllung mit Haarfilz, ihre Bedeckung mit Stern- und Schuppenhaaren oder ihre senkrechte Stellung, welche der vollen Besonnung ausweicht, sind ebenso häufige Schutzmittel gegen starke Transpiration. Den

wirksamsten Schutz gegen letztere bietet aber entschieden die Reduktion der transpirierenden Flächen, die sowohl durch Verkleinerung der Blattflächen oder deren gänzliches Schwinden, wie auch durch Zusammendrängen der Einzelpflanzen zu geschlossenen Polstern erreicht werden kann (Fig. 189).

Senkrechte Blattstellung oder der Ersatz der Blätter durch senkrecht gestellte, verbreiterte Blattstiele (Phyllodien) zeichnet vor allem die Flora Australiens aus (Fig. 190). Dichte Behaarung dagegen überzieht z. B. die Blätter einiger südafrikanischer Proteaceen (Leucadendron argenteum). Einzelne Gräser (Stipa capillata, Festuca alpestris, Sesleria tenuifolia und punctoria u. a.) rollen oder klappen ihre Blätter zur Zeit der Dürre mit Hilfe besonderer Charniere zu einer engen Röhre zusammen, in deren Innenraum die luftspaltentragende Blattfläche vor Verdunstung geschützt liegt (Fig. 191). Reduktion der Blätter ist eingetreten bei Ginsterarten und Sarothamnus, wie auch bei den cypressenartigen Koniferen, denen sich im Habitus auch eine neuseeländische Ehrenpreisart eng anschließt (Fig. 192). Vollständiger Verlust aller Blattflächen liegt bei den meisten Cacteen vor, bei welchen außerdem der Stamm zu einem Wasserreservoir fleischig angeschwollen ist. Diese als Succulenz bezeichnete Anschwellung hat sich auch bei den Bewohnern trockner Standorte aus anderen Familien eingestellt, so bei vielen Euphorbiaceen (Fig. 193), bei Compositen (Kleinia articulata), Asclepiadaceen u. a. Man hat berechnet, daß die Verdunstung eines großen Kugelcactus dank der succulenten Ausbildung nur den 6000sten Teil der Verdunstung einer gleichschweren Schlingpflanze (Aristolochia Sipho) beträgt (33). — Statt des Stammes können auch die Blätter selbst succulent entwickelt sein wie bei unserer Hauswurz und anderen Sempervivumarten, bei vielen Sedum-, Aloë- und Agave-Arten. Stamm und Blätter sind dagegen gleichmäßig succulent bei manchen Mesembryanthemumarten. Als Wasserspeicher dient anderen Pflanzen das Parenchym von Stammknollen (epiphytische Orchideen) oder verdickte Wurzeln (Oxalideen). Viele epiphytische Bromeliaceen fangen als sogen. Cisternenpflanzen das Regenwasser in ihren wasserdicht zusammenschließenden Blattrosetten auf und saugen dasselbe durch Schuppenhaare, welche die Blattflächen bedecken, begierig ein, wie z. B. Tillandsia-Arten. Baumbewohnende Orchideen und Aroideen sammeln das Regenwasser in einem Schwammgewebe, welches sich durch Wucherung aus der

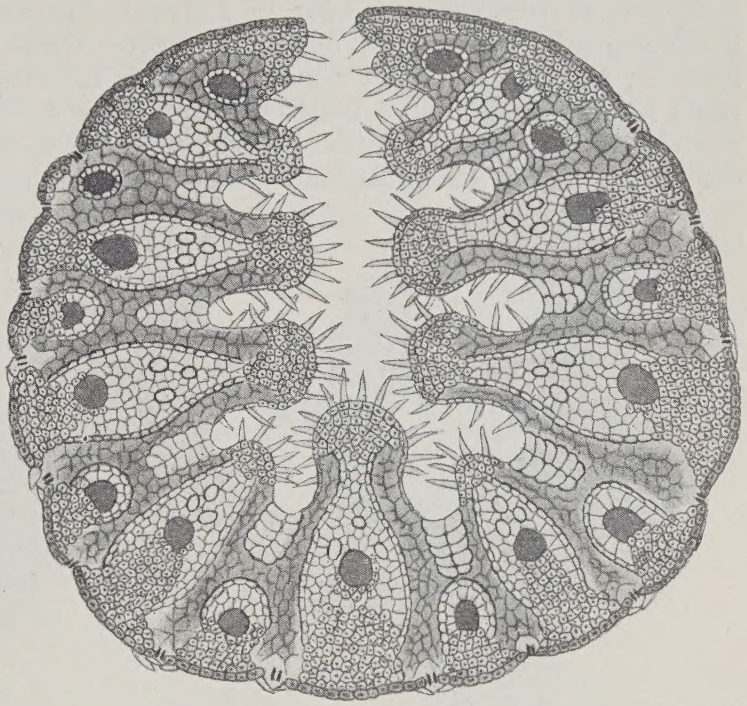


Fig. 191. Blattquerschnitt des Steppengrases Aristida pungens. (Nach TSCHIRCH.) Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

Fig. 192. Veronica cupressoides. Cypressenähnlicher Ehrenpreis von Neuseeland. Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

einfachen Wurzelepidermis entwickelt (Velamen radicum S. 90). Andere epiphytische Orchideen, Aroideen und Farne (Asplenium Nidus z. B.) bereiten sich künstlich ein schwammartig wirkendes Wasserreservoir, indem sie in ihren trichterartig zusammenschließenden Blattrosetten oder in Luftwurzelmassen den Humus sammeln. In diese Komposterde wächst nach oben ein dichtes Geflecht von Nährwurzeln, welches dem feuchten Humusneste Wasser und Nährstoffe entnimmt. Manche Frullanien (an Buchenrinde häufige Lebermoose) besitzen andererseits capillare krugartige Wasserbehälter auf der Unterseite ihres Thallus (Fig. 357). Ein besonders merkwürdiger Fall liegt aber bei der epiphytischen Dischidia Rafflesiana vor, wo eine Anzahl der Blätter als tiefe Urnen mit schmaler Eingangsöffnung ausgebildet werden und Wurzeln der Pflanze in diese Behälter hineinwachsen und sich darin verzweigen. — Es erscheint im ersten Augenblick widersinnig, daß auch Pflanzen, welche wie die Mangrovebäume ganz im Wasser stehen, gewisse Schutzeinrichtungen gegen starke Transpiration besitzen. Da diese Bäume aber im Meerwasser oder stark brakigem Salzwasser wachsen, so ist erstens die Wasseraufnahme physikalisch erschwert, zweitens kommt es hier, wie bei anderen Halophyten (Fig. 180), auch darauf an, die Anhäufung allzugroßer Salzmengen in den Geweben zu verhindern.

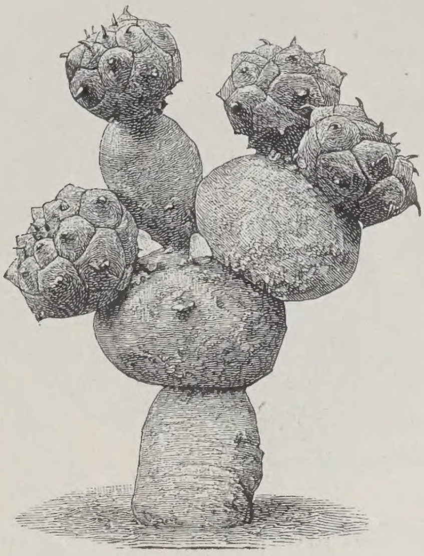


Fig. 193. Euphorbia globosa, eine succulente Wolfsmilch. An den oberen kugligen Sprossen sind die verkümmerten Blättchen zu sehen, die alsbald abfallen. Etwas verkleinert.

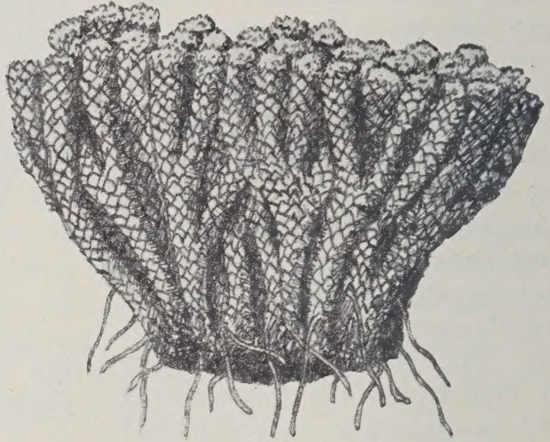


Fig. 194. Maja compacta. Alpines Polstergewächs aus den Anden. Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

Im hohen Norden, wie auch in alpinen Regionen, wo der Boden, monatelang hart gefroren, der Pflanze das Wasser streitig macht, treffen wir aus diesem Grunde in der Flora ähnliche Schutzeinrichtungen gegen starke Transpiration, wie in heißen Wüstengegenden (Fig. 194) (34).

Die dort häufige zwerghafte Ausbildung der Gewächse (Fig. 195) ist ebenso sehr ein Ausdruck der Beschränkung der Transpiration als gekürzter Vegetationsbedingungen im allgemeinen.

Die Aneignung (Assimilation) des Kohlenstoffs.

Wenn man bei Stoffen, die sämtlich notwendig sind zur Ernährung eines Organismus, überhaupt noch zwischen wichtigeren und unwichtigeren unterscheiden könnte, so müßte man den Kohlenstoff unstreitig für den wichtigsten unter den Nährstoffen einer Pflanze erklären. Alle und jede organische Substanz enthält Kohlenstoff; es gibt kein anderes Element, welches hier den Kohlenstoff zu ersetzen und Substanzen in so unübersehbarer Mannigfaltigkeit und Fülle zu bilden vermöchte, wie sie der Kohlenstoff in den Organismen sowohl als im chemischen Laboratorium schafft. Die ganze organische Chemie ist ja die Chemie des Kohlenstoffs. Die aus

organischen Stoffen aufgebauten Organismen verdanken die Möglichkeit ihrer Existenz in letzter Linie also den Eigenschaften des Kohlenstoffs.

Daß die Pflanze wirklich Kohlenstoff, freilich in versteckter Form, enthält, das braucht uns aber nicht erst die chemische Analyse zu lehren. Jeder brennende Holzspan, jedes glimmende Streichholz zeigt durch seine „Verkohlung" den Gehalt an diesem Stoffe an. Die Betrachtung eines Stückes Holzkohle, in welchem sich die feinste Holzstruktur erhalten hat, läßt weiterhin darauf schließen, wie gleichmäßig die Verteilung des Kohlenstoffs in der Substanz und wie vorherrschend seine Masse in derselben ist. Genaue Wägungen haben denn auch ergeben, daß der Kohlenstoff etwa die Hälfte des Trockengewichtes einer Pflanze ausmacht. — So sind auch die ungeheuren Steinkohlenmassen tieferer Erdschichten die verkohlten Überreste vorweltlicher Pflanzen; Braunkohle und Torf, bei besonderem Präparationsverfahren aber auch die Steinkohle, zeigen ihre Abkunft noch durch sehr deutliche makroskopische oder mikroskopische Strukturen an.

Woher kommt nun der Kohlenstoff in die Pflanze? Die „Humustheorie", welche lange Zeit die Botanik und Landwirtschaft beherrschte, nahm an, daß der kohlenstoffreiche Humus des Bodens die Kohlenstoffquelle für die Pflanze sei, daß der Kohlenstoff also ganz wie die übrigen Nährstoffe durch die Wurzeln aufgenommen werde. Pflanzen, welche in humusfreiem Sande oder gar in der Wasserkultur kräftig wachsen und dabei ihre Trockensubstanz und demgemäß ihren Kohlenstoff mehren, beweisen jedoch klar, daß diese Humustheorie falsch war, daß der Kohlenstoff anderswoher kommen muß. Stammt doch auch der Kohlenstoff des Humus umgekehrt erst aus verwesenden Pflanzenresten. Die Entdeckung, daß der Kohlenstoff der Pflanze der Kohlensäure der Luft entnommen und durch die grünen Blätter gewonnen und in Kohlehydrate übergeführt wird, knüpft sich vornehmlich an die Namen Ingenhouss, Senebier, Theod. de Saussure und Jul. Sachs; sie fällt in ihren Anfängen in das Ende des achtzehnten Jahrhunderts. Diese Entdeckung ist eine der bedeutsamsten naturwissenschaftlichen Leistungen, denn es war gewiß nicht leicht, den unsichtbaren Gasaustausch mit der Luft als den wichtigsten Ernährungsvorgang der Pflanze aufzufinden, und es gehörte der Mut einer festen Überzeugung dazu, die Tausende von Zentnern Kohlenstoff, welche ein Walddistrikt in sich anhäuft, aus dem prozentisch äußerst geringen Kohlensäuregehalt der Atmosphäre (0,033 %) herzuleiten.

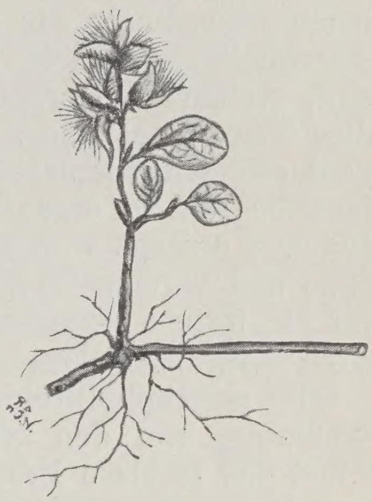


Fig. 195. Die Polarweide, Salix polaris, ausgewachsen, mit Früchten. Nat. Größe. Aus Schimper, Pflanzengeogr.

Der zeitlich und örtlich gewissen Schwankungen unterworfene Kohlensäuregehalt der Luft (H. Brown fand im Juli 2,7—2,9 l, im Winter 3,0—3,6 l, dicht über dem Erdboden 12—13 l in 10 000 l Luft) beträgt im Mittel $3^1/_3$—$3^1/_2$ l in 10 000 l Luft; diese wiegen etwa 7 g; davon sind aber $^8/_{11}$ des Gewichts Sauerstoff und nur $^3/_{11}$ Kohlenstoff. In den 10 000 l Luft sind demnach nur etwa 2 g Kohlenstoff enthalten. In einem Baume von 100 Zentnern Trockengewicht sind ca. 50 Zentner oder 2500 Kilo Kohlenstoff angesammelt. Um diesen zu erlangen, muß der Baum also ca. 1 250 000 × 10 000 l = etwa 12 Millionen Kubikmeter Luft von ihrer Kohlensäure befreit haben. Bei der Berücksichtigung solcher Zahlen findet man es begreiflich, daß die Entdeckung Ingenhouss' ungläubig aufgenommen, später ganz zurückgewiesen und vergessen wurde. Erst Liebig brachte sie in Deutschland wieder zur Geltung, und heute steht sie über allen Zweifel

erhaben da. Auch die angeführten Zahlen haben nichts ungeheuerliches mehr, wenn man andererseits bedenkt, daß trotz des geringen Prozentgehaltes der Atmosphäre an Kohlensäure sich der tatsächlich vorhandene Vorrat an diesem Gase auf etwa 3000 Billionen Kilo berechnet, in welchen 800 Billionen Kilo Kohlenstoff enthalten sind. Dieser Vorrat würde aber auf lange Zeit für die Vegetation der Erde hinreichen, auch wenn der Luft nicht ständig große Kohlensäuremengen durch die Atmung und Verwesung von Organismen, durch Verbrennung von Holz und Kohle wiedergegeben und durch vulkanische Tätigkeit neu zugeführt würden. Ein erwachsener Mensch atmet täglich etwa 900 g Kohlensäure (245 g C.) aus; die ganze Menschheit, zu 1400 Millionen gerechnet, also allein schon etwa 1200 Millionen Kilo CO_2 (340 Millionen Kilo C.). Die aus sämtlichen Schornsteinen der Erde entweichende Kohlensäure liefert schon enorme Werte, da nach den Angaben von Credner jährlich 460 000 000 000 kg Kohlen gefördert und, zu 1 265 000 Millionen kg Kohlensäure verbrannt, der Atmosphäre übergeben werden. Den Pflanzen steht aber der ganze Vorrat des Luftmeeres zur Verfügung, da sich die Kohlensäure durch Diffusion und Luftströmungen immer wieder gleichmäßig ausbreitet.

Nicht alle Pflanzen und nicht alle Teile einer Pflanze sind aber im stande, der Kohlensäure den Kohlenstoff zu entreißen. Nur die durch Chlorophyll grün gefärbten Organe sind zu dieser Tätigkeit befähigt, denn die Chlorophyllkörper selbst sind die Laboratorien, in denen sich dieser für die gesamte Lebewelt wichtigste chemische Prozeß ausschließlich abspielt. Aus diesen Laboratorien stammt der gesamte Kohlenstoff, welcher die organische Substanz aller Lebewesen, aller Pflanzen wie aller Tiere, zusammensetzt. Kein Tier ist im stande, das wichtigste Element seiner Körpersubstanz aus anorganischer Quelle zu gewinnen, es kann dasselbe nur in organischer Substanz aufnehmen, die in letzter Linie in Pflanzen erzeugt worden ist. Aber auch alle chlorophyllfreien Pflanzen, wie Pilze und vereinzelte höhere Schmarotzergewächse, sind bei ihrer Ernährung auf die fertige organische Substanz angewiesen, die von Chlorophyllkörpern ihren Ausgang nahm.

Die chlorophyllfreien Teile (Wurzeln usw.) grüner Pflanzen sind in ihrer Ernährung von den grünen Blättern abhängig, wie in den grünen Zellen selbst das farblose Protoplasma von der Tätigkeit der Chlorophyllkörper.

Die Gewinnung des Kohlenstoffs aus der Kohlensäure und seine Überführung in organische Substanz hat man schlechthin als die Assimilation der Pflanzen bezeichnet. Im weiteren Sinne und besonders für das Tierreich wird zwar das Wort Assimilation von allen Prozessen gebraucht, bei denen eine Umbildung der gebotenen Nährstoffe in die Körpersubstanz der Organismen stattfindet. Es hat sich aber in der Botanik die Gewohnheit herausgebildet, daß unter „Assimilation" speziell die Kohlenstoffassimilation der Chlorophyllkörper gemeint ist. Durch diese vollzieht sich jedenfalls der wichtigste Schritt aller weiteren sogen. „Assimilationsvorgänge", die sich nur auf dieser ersten Grundlage nachträglich fortzusetzen vermögen.

Höchst bemerkenswert ist es aber, daß die Chlorophyllkörper nur mit Hilfe von Lichtschwingungen aus Kohlensäure und Wasser organische Substanz bereiten können (Photosynthese). Im Dunkeln assimiliert der Chlorophyllapparat nicht, auch wenn sonst alle Bedingungen für eine rege Assimilation vorhanden sind. Mit eintretender Beleuchtung, die aus künstlichen Lichtquellen ebenso wie aus kosmischen Quellen stammen kann, beginnt dann erst die Assimilation und steigt in gewissen Grenzen proportional mit der Intensität der wirksamen Strahlen. Ungünstige Bedingungen (Kälte, Gifte usw.) vermögen den Chlorophyllapparat für längere Dauer in Unwirksamkeit zu versetzen.

Die Lichtschwingungen des Äthers liefern die Energie zur Kohlenstoffumsetzung, so wie die Wärmeschwingungen die Energie zum Betrieb

einer Dampfmaschine abgeben. Bei der Assimilation des Kohlenstoffs ist eine ansehnliche chemische Arbeit zu leisten und von den dadurch geschaffenen Spannkräften werden vornehmlich die Lebensvorgänge der Organismen unterhalten. Auch die durch unsere Dampfmaschinen erzeugten und zu den mannigfaltigsten Arbeitsleistungen verwandten Kräfte sind auf die Assimilationsarbeit jener Pflanzen zurückzuführen, deren Holz oder deren verkohlte Reste unter dem Maschinenkessel verbrennen. Denn beim Verbrennen der reduzierten Kohlenstoffverbindungen zu Kohlensäure wird nur jene Arbeitsleistung wieder frei, welche umgekehrt nötig war, die Kohlensäure in jene Brennstoffe überzuführen.

Zum Betrieb der Assimilationstätigkeit sind aber durchaus nicht alle Ätherschwingungen, die sich unserem Auge als Licht bemerkbar machen, gleich befähigt. Wie die Strahlen von verschiedener Wellenlänge, welche das uns weiß erscheinende Mischlicht zusammensetzen, sowohl auf unser Auge als auch auf die photographischen Zersetzungen verschieden einwirken, so beeinflussen sie auch die Assimilation in ganz verschiedenem Maße. Man könnte vermuten, daß die sogen. chemisch wirksamen Strahlen, also die blauen und violetten, welche vornehmlich die Zersetzung der Silberhaloidsalze und anderer chemischer Verbindungen bewirken, auch bei den Umsetzungen im Chlorophyllkorn die wirksamen seien. Es hat sich aber gerade das Gegenteil herausgestellt. Die stark brechbaren „chemischen" Strahlen sind bei der Assimilation viel schwächer beteiligt als die roten, orangen und gelben Strahlen. Der sogenannte leuchtende Teil des Spektrums ist für die Assimilation am wirksamsten(35).

Bei rotblätterigen Abarten grüner Pflanzen, wie der Blutbuche und dem Rotkohl, ist das Chlorophyll ganz wie in den grünen Stammformen entwickelt und nur unserem Auge durch einen roten Farbstoff in der Epidermis oder den tieferliegenden Zellen verdeckt; bei den rot oder braun aussehenden Algen ist dagegen das Chlorophyllgrün durch Farbstoffe verdeckt, die in den Chromatophoren selbst, neben dem Chlorophyll, enthalten sind.

Bei den blaugrünen Süßwasseralgen, sowie den braunen und roten Meeresalgen, welche in den Chromatophoren neben ihren besonderen Farbstoffen, wie erwähnt, noch echtes Chlorophyll enthalten, liegt die maximale Assimilation nach Engelmanns Angaben in anderen Teilen des Spektrums als bei den rein grünen Pflanzen und zwar verschoben nach dem Teil des Spektrums, welcher der vorherrschenden Färbung komplementär ist. Die dem Chlorophyll beigegebenen Farbstoffe wirken demnach analog den Sensibilisatoren der photographischen Platte, indem sie Licht anderer Wellenlänge zur chemischen Mitarbeit heranziehen. In der variablen Oscillaria sancta fanden Engelmann und Gaidukow einen Organismus, der dementsprechend in grünem Lichte eine rote, in rotem eine grüne, im gelben Lichte eine blaugrüne und im blauen eine braungelbe Färbung annahm („Komplementäre chromatische Adaptation"). Der Chlorophyllfarbstoff selbst soll nach der Ansicht mancher Physiologen auch nur als Sensibilisator bei der Assimilation beteiligt sein. — Den Pflanzen in der freien Natur stehen im allgemeinen alle Strahlen des gemischten weißen Lichtes zu Gebot: nur die in größeren Meerestiefen (bis höchstens 400 m unter der Oberfläche) lebenden Pflanzen wachsen in vorwaltend blauem Lichte, während die tieferliegenden Gewebe der Landpflanzen in rötlichem Lichte leben, da dieses am tiefsten in die parenchymatischen Gewebe eindringt(36).

Um die Assimilation in verschiedenen Lichtarten zu untersuchen, bedient man sich entweder der einzelnen Farben des Sonnenspektrums, oder man vergleicht die Assimilation der Pflanzen hinter farbigen Gläsern oder farbigen Lösungen. Hierzu eignen sich besonders doppelwandige Glasglocken, deren Wandraum mit Kalibichromat oder Kupferoxydammoniak gefüllt werden kann. Hinter der ersten Lösung, welche Rot, Orange und Gelb durchläßt, assimilieren die Pflanzen nahezu ebenso stark, wie in weißem Licht; hinter der zweiten Lösung, welche vornehmlich die sogen. photochemischen Strahlen passieren läßt, ist die Assimilation erheblich schwächer.

Über die photosynthetischen Vorgänge, die sich bei der Assimilation in den grünen

Zellen abspielen, weiß man noch äußerst wenig. Man weiß zwar, daß nur die Chlorophyllkörper dazu befähigt sind, ist aber über die Rolle, die dem Farbstoff dabei zufällt, noch im Unklaren. Der Farbstoff, den man seiner plasmatischen Grundsubstanz durch verschiedene Lösungsmittel entziehen kann und der nur einen geringen Gewichtsteil (ca. 0,1 %) des Chlorophyllkorns ausmacht, gibt isoliert in seinen Reaktionen keinerlei Anhaltspunkte für seine Bedeutung. Auch seine optischen Eigenschaften (Lichtabsorptionen) stehen in keiner direkt erkennbaren Beziehung zu den Assimilationsbedingungen, da die Assimilationsgröße mit der Stärke der Absorptionen nicht proportional ist. Nach den thermoelektrischen Messungen DETLEFSENS wird kaum der hundertste Teil der einem Blatte zustrahlenden Lichtenergie zur Assimilation verwandt, nach den Berechnungen von H. BROWN im Sonnenlicht nur $^1/_2$ %, im diffusen Lichte aber über 2 % (37). Man hat auch noch nicht erkannt, in welcher Weise die Mineralbestandteile des Transpirationsstroms in den Prozeß eingreifen. Andererseits ist aber auch die plasmatische Grundsubstanz der Chlorophyllkörper nicht im stande zu assimilieren, wenn sie den Farbstoff nicht enthält, d. h. wenn sie verhindert wird, zu ergrünen. Die Bildung des grünen Farbstoffs, die von der Wärme, von der Gegenwart des Sauerstoffs, des Eisens, von Kohlehydraten u. a. Nährstoffen, und, mit wenigen Ausnahmen (Farne, Koniferen-Keimblätter, niedere Algen in organischer Nährlösung), auch von der Einwirkung des Lichtes abhängig ist, kann nämlich durch die Entziehung dieser Bedingungen verhindert werden. Dann bleiben die sonst ergrünenden Chromatophoren gelb (in Blättern) oder weiß (in Stengeln).

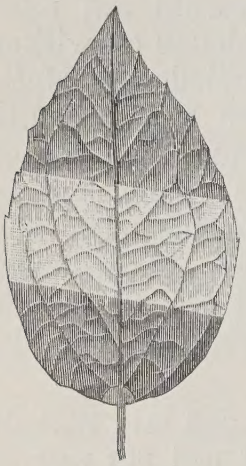


Fig. 196. Ein der Jodprobe unterworfenes Blatt. Während der Assimilation im Licht war dasselbe durch einen querüber gelegten Streifen Stanniol teilweise verdunkelt geblieben. Im so verdunkelten Teil des Blattes wurde keine Stärke gebildet, er bleibt bei der Jodprobe weiß. $^3/_4$ nat. Größe.

In den letzten Jahren ist wiederholt festgestellt worden, daß u. a. gewisse nitrifizierende Bakterien in Berührung mit Karbonaten, Kohlensäure und Ammoniak ebenfalls geringe Mengen organischer Substanz zu bilden vermögen. Die Bildungsart der organischen Kohlenstoffverbindung ist hier aber von der in grünen Pflanzen gänzlich verschieden, da jene Bakterien kein Chlorophyll enthalten und ihre Ernährungstätigkeit vom Licht ganz unabhängig ist. Statt der Photosynthese, wie sie in den Chlorophyllkörpern stattfindet, besteht hier eine durch den Energiegewinn bei der Verbrennung des Ammoniaks zu Salpetrigersäure, oder dieser zu Salpetersäure, betriebene Umsetzung (Chemosynthese). Noch nicht genugsam aufgeklärt ist die Bildung von organischer Substanz in den sogen. Purpurbakterien, in denen ebenfalls Photosynthese stattfinden soll.

Von den Umsetzungsprodukten der Assimilation sind bislang nur bekannt das vorläufige Endprodukt und ein Nebenprodukt. SACHS machte die Entdeckung, daß die organische Verbindung, welche als erstes nachweisbares Endprodukt erscheint, bei höheren Pflanzen ein Kohlehydrat ist, das entweder gelöst bleiben oder aber in der Form von Stärkekörnern am Orte seiner Entstehung mikroskopisch sichtbar werden kann. Bei einer Anzahl von Pflanzen (z. B. Algen) ist das erste mikroskopisch sichtbare Erzeugnis oft nicht Stärke, sondern fettes Öl, Proteïn oder ein anderes sekundäres Umwandlungsprodukt.

Nach begonnener Assimilationstätigkeit treten oft schon nach kurzer Zeit, in einzelnen Fällen schon nach fünf Minuten im Sonnenlicht, in den Chloroplasten winzige Stärkekörnchen auf, die sich weiterhin stetig vergrößern und die Substanz der Chloroplasten oft an Masse weit überholen. Hört die Assimilationstätigkeit auf, was regelmäßig des Nachts geschieht, dann verschwinden diese Stärkekörner und wandern als gelöste Kohlehydrate — Glukosen (= Glykosen) etc. — aus ihren Zellen aus. Bei manchen Pflanzen (vielen Monokotylen) kommt es in den Chloroplasten überhaupt nicht zur Bildung von Stärke und das Assimilationsprodukt tritt gelöst in den Zellsaft über. Ausnahmsweise, wie bei Überfüllung mit Glukosen, Zucker u. dergl.,

kann aber auch hier (wie übrigens auch in den anders gefärbten Chromatophoren der Blüten und Früchte) Stärke gebildet werden; so führen die Spaltöffnungsschließzellen auch jener Monokotylen Stärke. Diese erscheint demnach als das in fester Form abgeschiedene Lagerprodukt der Assimilation, während die zunächst entstehenden Kohlehydrate lösliche Hexosen, vornehmlich rechtsdrehende Zucker (Rechtsglukose $C_6H_{12}O_6$) sind. Die Photosynthese ist demnach eine asymmetrische in chemischem Sinne. — Bei Tropaeolum geht nach Brown die Entstehung von Rohrzucker der Stärkebildung in den Chloroplasten voraus.

Auch ohne Mikroskop läßt sich die Entstehung der Stärke als eine Folgeerscheinung der Assimilation nachweisen mit Hilfe der Jodreaktion: Beläßt man ein Blatt so lange im Finstern, bis seine Stärke völlig gelöst und ausgewandert ist, und bringt man es, nach Entfärbung in heißem Alkohol, dann in Jodlösung, so nimmt es darin eine gelblichbraune Färbung an. Unterwirft man dagegen ein Blatt, nachdem es im Lichte kräftig assimiliert hat, derselben Behandlung, so färbt es sich, dank der in seinen Zellen jetzt reichlich enthaltenen Stärke, tief blauviolett bis blauschwarz („Jodprobe"). Fig. 196 zeigt das Ergebnis der Jodprobe an einem Blatte, um welches ein Streifen von dunklem Papier oder Stanniol gelegt war. Die durch den Stanniolstreifen verdunkelten Zellen haben keine Stärke gebildet, die belichteten Partien sind dagegen mit Stärke dicht gefüllt und durch Jod dunkel gefärbt. — Wird ein grünes Blatt in kohlensäurefreier Luft dem vollen Lichte ausgesetzt, dann läßt sich ebensowenig Stärke darin nachweisen wie in einem verdunkelten Blatte.

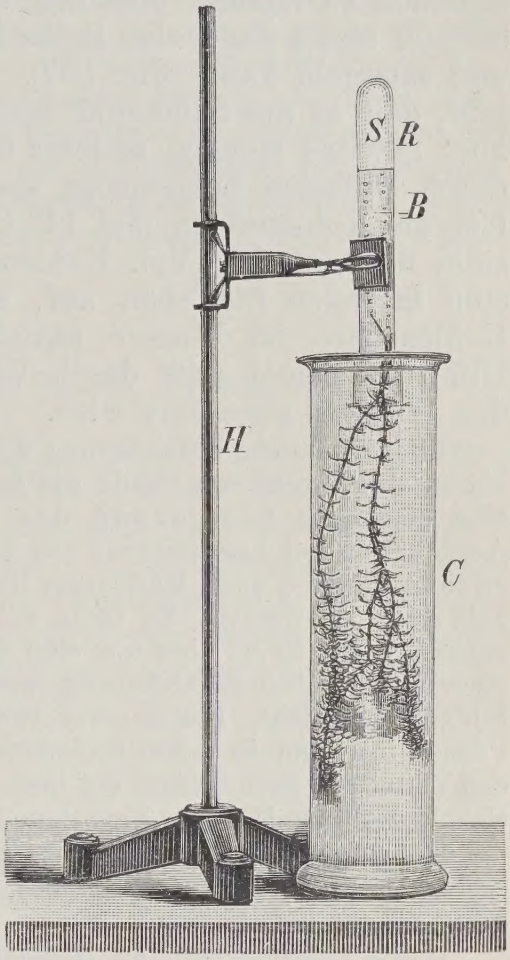


Fig. 197. Ausscheidung von Sauerstoff durch assimilierende Pflanzenteile. In dem Glascylinder *C* befindet sich in Wasser eine frisch abgeschnittene Wasserpflanze (Elodea canadensis). Die Schnittflächen sind in ein ebenfalls mit Wasser gefülltes Probierröhrchen *R* eingeführt. Die ausgeschiedenen Sauerstoffbläs'chen *B* steigen in demselben auf und sammeln sich oben bei *S*.

Das beim Assimilationsprozeß frei werdende Nebenprodukt ist reiner Sauerstoff. Sein Volumen ist annähernd das gleiche wie das der zersetzten Kohlensäure. Wenn Pflanzenteile in einem abgemessenen Raume kohlensäurereicher Luft assimilieren, bleibt das Volumen daher annähernd unverändert. Daraus geht aber hervor, daß etwa so viel Sauerstoff frei wird als in der verarbeiteten Kohlensäure gebunden war:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \rightarrow = \underset{\text{Glukose}}{C_6H_{12}O_6} + 6\,O_2$$

Wie man aus dieser chemischen Endgleichung ([38]) ersieht, werden bei der Assimilation auch die Elemente des Wassers verbraucht. (Vgl. S. 155.) — Bei der nachträglichen Umwandlung des gebildeten löslichen Monosaccharids in unlösliche Polysaccharide (Stärke, Cellulose) werden kleine Mengen Wasser wieder frei.

Die Sauerstoffausscheidung grüner Pflanzen, die in der Luft natürlich nicht direkt wahrnehmbar ist, macht sich bei Wasserpflanzen aber sehr auffallend bemerkbar und so kam es, daß man dieses Nebenprodukt der Assimilation lange vor dem Endprodukte kennen lernte. Durch die Ausscheidung von Sauerstoffblasen wurde INGENHOUSS überhaupt erst auf die Ernährungstätigkeit der Blätter aufmerksam gemacht. Um erstere zu sehen, genügt es eine untergetauchte Wasserpflanze zu verletzen und von der Sonne bescheinen zu lassen. Aus der Wunde, welche die großen Intercellulargänge öffnete, steigt dann eine Reihe kleiner Luftbläs'chen auf, die man auffangen und sammeln kann (Fig. 197). Die Prüfung des so gewonnenen Gases ergibt, daß es aus Sauerstoff besteht, dem bei so einfacher Versuchsanstellung aber gewisse Mengen anderer Gase, aus dem Wasser und der Pflanze selbst, durch Diffusion beigemengt sind. Da das Wasser viel weniger Sauerstoff löst als Kohlensäure (bei 14° C. lösen 100 Vol. Wasser nur 3 Vol. Sauerstoff, dagegen 100 Vol. Kohlensäure), so tritt nur der abgeschiedene Sauerstoff in freien Bläs'chen auf, während die von der Pflanze aufgenommene Kohlensäure im Wasser unsichtbar gelöst bleibt und der Pflanze durch Diffusion, zumal auch durch Vermittlung von Strömungen, aus allen Teilen des Wassers zugeführt wird.

Eine künstliche Bereicherung des Wassers durch Einleiten von Kohlensäure vermehrt bis zu einem gewissen Grade die Sauerstoffausscheidung, also die Assimilation. Auch eine künstliche Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft hat vermehrte Assimilation bei Landpflanzen zur Folge; bei einem Kohlensäuregehalt von etwa 10 % erreicht dieselbe nach KREUSLER im Sonnenschein ihr Maximum, bei noch höherem Gehalt sinkt sie wieder. Es steht der 300fachen CO_2-Bereicherung (von 0,033 % der Atmosphäre auf 10 %) aber nur eine 4—5fach erhöhte Stärkebildung gegenüber, während einer nur 6fachen Bereicherung nach H. BROWN eine auch etwa 6fach erhöhte Stärkebildung entspricht. Ein längerer Aufenthalt in kohlensäurereicherer Luft fördert aber die Pflanze trotzdem in ihrem Gedeihen nicht, sie nimmt abnorme Wuchsformen an, büßt das Vermögen zum Blühen ein und zeigt damit an, daß sie auf den gewöhnlichen CO_2-Gehalt der Luft in ihren Funktionen abgestimmt ist [39].

Kohlenoxydgas (CO) kann von grünen Pflanzen überhaupt nicht verarbeitet werden; es kann also die Kohlensäure nicht ersetzen. Es ist übrigens für die Pflanze weit weniger giftig als für höhere Tiere.

Unter gleichen äußeren Bedingungen ist die Assimilation verschiedener Pflanzen aus inneren Ursachen verschieden; in gleicher Zeit bildet die eine mehr, die andere weniger Kohlehydrat mit der gleichen Blattfläche. In diesem Sinne spricht man von einer spezifischen Assimilationsenergie, welche zum Teil wohl durch die verschiedene Zahl und Größe der Chloroplasten sowie durch die verschiedene Durchlüftung der Blätter bedingt ist, jedenfalls aber auch in deren kräftigeren oder schwächeren Tätigkeit selbst ihren Grund hat.

Als Beispiel für eine mittlere Leistung seien die Blätter der Sonnenblume und des Kürbis angeführt, die unter günstigen Assimilationsbedingungen während eines Sommertages von 15 Stunden etwa 25 g Stärke pro Quadratmeter bilden, während Catalpa nach BROWN pro Stunde und Quadratmeter rund 1 g Substanz bildet. (Der Kohlenstoff zu jener Stärkemenge war in 50 Cubikmetern Luft vorrätig. Ein mäßig großes Zimmer von 120 Cubikmetern Luftraum würde demnach die Kohlensäure für 60 g Stärke enthalten.) Aus diesen Zahlen läßt sich auf die enorme Assimilationsarbeit schließen, welche in dem jährlichen Mehlverbrauch einer großen Stadt oder gar eines Landes zum Ausdruck gelangt. Allein in Getreide betrug die deutsche Ernte an Assimilaten im Jahre 1900 rund 23000 Millionen Kilo.

Zur Mechanik des Gaswechsels. Während die einfacher organisierten niederen Gewächse wie auch die submersen Phanerogamen den Gaswechsel mit dem umgebenden Medium durch Diffusion an der ganzen Oberfläche vollziehen, verkehren die höher organi-

sierten Pflanzen lediglich mit Hilfe ihrer Spaltöffnungen diffusorisch mit ihrer Umgebung. Wie der Wasserdampf wesentlich nur durch die geöffneten Spalten seinen Ausweg findet, so können auch Kohlensäure und Sauerstoff sowohl im Gaswechsel der Assimilation wie in dem umgekehrten der Atmung (S. 197) nur durch die Spaltöffnungen in ausreichendem Maße diffundieren. Bei ihrer außerordentlichen Kleinheit (ca. 0,0001 qmm bei Helianthus) nehmen die Spaltöffnungen aber trotz ihrer enormen Anzahl (S. 164) doch nur ein Prozent oder wenig mehr der Blattepidermis für sich ein. Wie Brown und Escombe gezeigt haben, wird aber gerade durch die Kleinheit und die eigenartige Verteilung der Spaltöffnungen der physikalische Vorteil einer enorm gesteigerten Diffusionsgeschwindigkeit erreicht. Die Diffusion durch eine Summe feiner Öffnungen ist weitaus größer als die durch eine einzige Öffnung von derselben Gesamtweite, und wenn außerdem die kleinen Öffnungen etwa um ihren zehnfachen Durchmesser voneinander entfernt stehen, so fällt die Diffusion annähernd so stark aus, als ob überhaupt keine trennende Wand vorhanden wäre. Dieser Anforderung entspricht die Verteilung der Spaltöffnungen auch so weit, daß beispielsweise ein Quadratmeter Blattfläche von Catalpa in der Zeiteinheit etwa $^2/_3$ der Kohlensäuremenge absorbiert, welche ein Quadratmeter Kalilauge, frei der Luft ausgesetzt, dieser entreißt (40).

Die Verwertung der Assimilate in der Pflanze.

Die Bildung der Eiweißkörper. Die Chlorophyllkörper liefern der Pflanze als organische Nahrung ein Kohlehydrat. Wenn nun auch ein großer Teil der organischen Pflanzensubstanz nur aus Kohlehydraten sich zusammensetzt — wie z. B. das Zellhautgerüst —, so besteht doch der lebendige und darum wichtigste Bestandteil des Pflanzenkörpers, das Protoplasma, aus eiweißartiger Substanz. Die Eiweißkörper haben aber eine ganz andere Zusammensetzung als die Kohlehydrate; sie enthalten neben C, O und H noch Stickstoff, Schwefel und Phosphor, davon den Stickstoff in erheblicher Menge (etwa 15 %). In der Pflanze muß also auch eine Neubildung von Eiweißstoffen aus Kohlehydraten stattfinden. Man hat gewisse Anzeichen dafür, daß die Bildung von Eiweißkörpern aus Kohlehydraten zum Teil schon in den grünen Zellen der Blätter erfolgt, aber auch in nichtgrünen Zellgeweben von gewissen Pilzen muß diese Neubildung vor sich gehen.

Über den Verlauf der Synthese der Eiweißkörper in der Pflanze weiß man ebensowenig wie über die der Kohlehydrate aus Kohlensäure und Wasser. Daß sie aber aus Kohlehydraten und den genannten Mineralstoffen erfolgt, schließt man aus der beobachteten Zufuhr und dem Verbrauch dieser Stoffe an den Plasmabildungsstätten. Als die dabei zur Verwendung kommenden Kohlehydrate sind wohl vornehmlich die Glukosen (Traubenzucker, Dextrose $C_6H_{12}O_6 + H_2O$, Fruchtzucker, Lävulose $C_6H_{12}O_6$) und die Maltose ($C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$) anzunehmen, denn, mag das vorgebildete Kohlehydrat Stärke, Inulin, Rohrzucker, Reservecellulose oder Glukogen gewesen sein, immer werden daraus vor der Verarbeitung zu Eiweiß zunächst Glukosen oder Maltose gebildet.

Die mineralischen Nitrate, Sulfate und Phosphate greifen besonders als Kali- und Magnesiasalze in den Prozess ein. Den Nitraten und Sulfaten werden dabei N und S unter Zerstörung des Säureradikals entrissen, während aus den Phosphaten die Säuregruppe als solche Verwendung findet bei der Bildung der Nucleïne im Zellkern. Das Eisen, welches allen Pflanzen, auch den nichtgrünen, unentbehrlich ist, scheint ebenfalls vornehmlich im Nucleïn organisch gebunden zu sein. Kalksalze scheinen nach neueren Erfahrungen eine unmittelbarere Rolle bei der Eiweißsynthese zu spielen als man früher glaubte. Am besten bekannt ist ihre Bedeutung, ja Notwendigkeit für den Stoffwechsel der meisten Pflanzen als Transportmittel der Mineralsäuren und bei der Neutralisierung bezw. Fällung der Oxalsäure ($C_2H_2O_4$). Die zunächst wohl entstehenden löslichen Oxalate setzen sich mit vorhandenen Kalksalzen um und es entsteht oxalsaurer Kalk, welcher nur in sehr geringen Mengen löslich ist und bei steigender Produktion auskristallisiert. Überall da, wo in der Pflanze Bildungsstätten von

Eiweiß und Nucleïn sind, da sind auch die Orte für die Oxalsäurebildung, deren Kalksalz gewöhnlich in Form von Drusen, Raphiden oder von winzigsten Kriställchen (Kristallsand) abgelagert wird.

Auf Grund des Vorkommens und sonstigen Verhaltens der im Pflanzenreich weit verbreiteten Amide und Hexonbasen betrachtet man sie wohl mit Recht als Vorstufen der Eiweißbildung. Unter den Amiden steht an Verbreitung das Asparagin $C_2H_3(NH_2)(CONH_2)(COOH)$ obenan. Vorherrschend in Gramineen und Leguminosen (1 Liter Saft von Bohnenkeimlingen enthält 12—15 g), wird es bei Cruciferen und Cucurbitaceen durch das Glutamin ersetzt, während in den Koniferen einer Hexonbase, dem Arginin $C_6H_{14}N_4O_2$, die entsprechende Rolle zuzufallen scheint. Über die Entstehungsweise dieser und ähnlicher stickstoffhaltiger Substanzen, aus deren Reihe nur das Betaïn, Leucin, Tyrosin, Allantoin noch genannt sein mögen, und ihre weitere Umwandlung zu den hochkomplizierten Eiweißstoffen, fehlen bis jetzt aber jede tatsächlichen Anhaltspunkte.

Von größter Wichtigkeit für die chemische Reaktionsfähigkeit, wie andererseits für die Lokalisierung einzelner Prozesse im Plasma ist die colloidale Beschaffenheit seiner Eiweißstoffe, deren osmotische Auswanderung damit auch verhindert ist (41).

Die Wanderung der Assimilate.

Wo colloidale Proteïnstoffe von Zelle zu Zelle transportiert werden sollen, wie z. B. aus proteïnreichen Samen in den Keimling, da sieht man sie hydrolytisch wieder unter Bildung löslicher Spaltungsprodukte zerfallen, wobei nach SCHULZE (12) zunächst Albumosen und Peptone entstehen, die aber weiterhin in Amidosäuren und Hexonbasen (wie Arginin), vielleicht sogar noch weiter in Ammoniakverbindungen zerlegt werden. Diese leicht diosmierenden Abbauprodukte wandern dann nach den Verbrauchsorten und treten dort mit Kohlehydraten und Mineralsäuren zu erneutem Aufbau von Eiweiß zusammen.

Neben dem Transport stickstoffhaltigen Bildungsmaterials in Form von löslichen Spaltungsprodukten durch allseitig geschlossene Parenchymzellen scheint der Ferntransport fertiger Eiweißkörper in den offenen Siebröhren des Bastes vor sich zu gehen. Hier in den Siebröhren, deren im Leben dünnflüssiger Eiweißschleim auch Kohlehydrate, Öltröpfchen und Leptomin (S. 67) führt, scheint sich besonders der Abfluß der organischen Bildungsstoffe aus den Blättern in die Wurzeln zu vollziehen. Ein das Siebröhrensystem unterbrechender, bis auf das Holz gehender Ringelschnitt hat demgemäß die Stauung der Nahrungssäfte oberhalb der Ringelwunde zur Folge.

Die Zufuhr der Kohlehydrate zu den Verbrauchsorten kann überall da, wo geschlossene Zellen zu passieren sind, nur in gelöster Form erfolgen. Wo jene also nicht schon am Ausgangspunkt in löslicher bezw. diosmierender Form vorkommen, müssen sie erst in solche Substanzen übergeführt werden. Das gilt vor allem von der Stärke und von der Reservecellulose. Die erstere wird umgewandelt in Glukose bezw. Maltose unter dem Einfluß der Diastase.

Die Diastase gehört zu jenen eigenartig wirkenden Körpern, die man als Fermente oder Enzyme bezeichnet, deren Bildung in der Pflanze z. T. den jeweiligen Bedürfnissen entsprechend geregelt wird, und deren auffallendste Eigenschaft es ist, gewisse Verbindungen zu zerlegen, zu erzeugen oder umzuwandeln, ohne bei diesem Wirken selbst merklich verändert oder verbraucht zu werden. Dadurch sind sie im stande, fast unbegrenzte Mengen bestimmter Substanzen zu verändern. Nach ihren wichtigsten physiologischen Eigenschaften unterscheidet man diastatische (stärkelösende), peptonisierende oder proteolytische (eiweißlösende) und invertierende

(zuckerumwandelnde) Enzyme. Mit diesen Gruppen ist aber die mannigfaltige Wirkungsweise dieser Körper nicht erschöpft, welche in dem nassen und kalten Verfahren, mit dem der organische Chemismus arbeitet, die hervorragendste Rolle spielen. So hat man noch trypsinartige, Eiweiß bei alkalischer Reaktion lösende Enzyme, membranlösende (Cellulose, Holz, Chitin verdauende), glukosidspaltende und ölzersetzende, Harnstoff in kohlensaures Ammoniak verwandelnde (Urasen) u. a. Enzyme im Pflanzenreich gefunden. Zweifellos wird sich aber noch eine große Zahl anderer Umsetzungen, deren Zustandekommen noch unbekannt ist, als Folge von Fermentwirkungen zu erkennen geben, deren oft viele, mit speziellen Wirkungskreisen, nebeneinander hergehen, wie zumal in Pilzen. Gemeinsam ist obengenannten Enzymen, daß sie meist hydrolytisch, d. h. die Elemente des Wassers einführend, wirken. (So bildet beispielsweise Diastase aus unlöslicher Stärke $C_6H_{10}O_5$ lösliche Glukose $C_6H_{12}O_6$.)

Wie Buchner entdeckte, besitzt sorgfältig filtrierter Preßsaft der Hefe, ebenso wie die lebendige Hefezelle, die Fähigkeit, Traubenzucker in Alkohol und Kohlensäure zu vergären. Buchner schreibt dieses Vermögen einem besonderen Gärungsenzym zu, der Zymase. Diese, den Oxydasen, d. h. Sauerstoff einführenden Enzymen näher stehend, weicht in ihrem Verhalten gegenüber den gewohnten Eigenschaften der bekannteren Enzyme in einigen Punkten so weit ab, daß ihre Enzymnatur von mancher Seite noch bestritten wird.

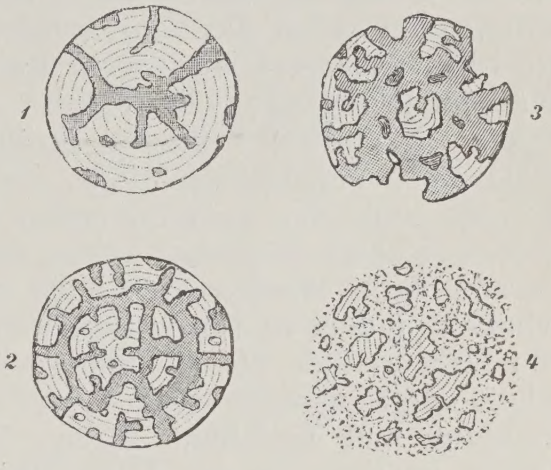


Fig. 198. Corrodierte Stärkekörner aus keimender Gerste. *1*, *2*, *3*, *4* aufeinander folgende Stadien der Auflösung, die sich nebeneinander vorfinden.

Enzyme sind meist stickstoffhaltige, eiweißartige, colloidale Stoffe, welche, vom Plasma erzeugt, in ihren Eigenschaften eine sogen. katalytische Wirkungsweise zeigen. Sie werden leicht aktiviert oder inaktiviert, wie z. B. von Giften, höheren Temperaturen. Da auch anorganische Katalysatoren (fein zerteiltes Iridium, colloidales Platin u. v. a.) derartige Wirkungen und ähnliche Empfindlichkeiten zeigen, so liegt in der Tätigkeit der Enzyme keine speziell vitale Äußerung vor. Sie wirken denn auch außerhalb des Organismus, können gefällt, wieder gelöst werden usw., ohne an Wirksamkeit zu verlieren. Neben reaktionsbeschleunigenden kennt man aber auch den Reaktionsverlauf hemmende Fermente und solche, welche die Wirkung der katalytischen Fermente durchkreuzen und aufheben (Antifermente) (43).

Der Gersten-Diastase ähnliche, Stärke lösende Stoffe finden sich im Pflanzenreich weit verbreitet und werden zusammen als diastatische Fermente bezeichnet. Sie treten besonders reichlich in keimenden stärkereichen Samen, Knollen und Zwiebeln, in Blättern und jungen Trieben auf, sind aber merkwürdigerweise auch an Orten und zu Zeiten nachgewiesen, wo ihnen gar keine Gelegenheit zur Stärkeauflösung geboten ist. Die diastatische Umwandlung und Lösung der Stärkekörner erfolgt oft auf eigentümliche Weise. Die Stärke wird dabei meist nicht etwa gleichmäßig von der Oberfläche her aufgelöst, sondern es bilden sich enge Kanäle, welche das Korn derart zerklüften, daß es schließlich in kleine Bruchstückchen auseinander fällt. Fig. 198 stellt derartige, durch Diastase in Auflösung begriffene „corrodierte" Stärkekörner der Gerste dar.

Die Auflösung der tagsüber in den Chlorophyllkörpern gebildeten Stärkekörner findet in der Regel des Nachts vollständig statt, da die Wirkung der diastatischen Fermente dann nicht durch Neubildung der Stärke über-

boten wird. Die dabei in den Blättern auftretende Glukose wandert aus den Mesophyllzellen zunächst in die langgestreckten Zellen, welche die Gefäßbündelscheiden bilden, und darin durch den Blattstiel in den Stengel, in welchem sie, wie es scheint, vornehmlich in den Gefäßbündeln entweder zu den jungen Gipfelsprossen und Knospen emporgeführt oder zu den Wurzeln abgeleitet wird, also dahin fließt, wo sie zur Ernährung verbraucht oder zur Speicherung niedergelegt werden soll. Nicht selten findet in den Zellen unterwegs wieder eine Umwandlung der Glukosen und der Maltose in andere Kohlehydrate statt, besonders in Stärke, die sich als transitorische Stärke gewöhnlich durch die Kleinheit der Körner auszeichnet. Am Verbrauchsorte werden aber immer wieder die zur Ernährung, wie es scheint, allein unmittelbar tauglichen Glukosen gebildet.

Die Speicherung der Assimilate.

Nicht alle Assimilate werden von der Pflanze sofort wieder verbraucht. Dessenungeachtet arbeitet der Assimilationsprozeß ungeschwächt fort, so lange die über den augenblicklichen Bedarf angehäuften Mengen aus den assimilierenden Zellen abgeführt werden. Jene werden dann an anderen Stellen als Nahrungsvorrat, als sogen. Reservestoffe in der Pflanze für spätere Wachstumsvorgänge oder für die erste Ernährung der Nachkommen abgelagert. In unseren Kräutern, Sträuchern und Bäumen wird alljährlich gegen Ende einer Vegetationsperiode, wenn das Wachstum keinen Verbrauch mehr bedingt und die assimilierenden Flächen ihre größte Ausdehnung und Leistungsfähigkeit erlangt haben, der Überschuß an Assimilaten am stärksten. Gerade dann werden aber auch neue Anziehungscentren für dieselben geschaffen, indem in besonderen Reservestoffbehältern große Quantitäten von Nährvorräten für die künftigen Jahrestriebe oder für die Nachkommenschaft aufgespeichert werden, da sich die jugendlichen Teile vor der Entwicklung und Entfaltung eigener Assimilationsflächen nicht selbständig ernähren können. In die Zellen des Embryo oder in das ihn umgebende Gewebe der Samen, in unterirdische Rhizome, Knollen, Zwiebeln und Wurzeln oder in die Rinde, die Markstrahlen, das Holzparenchym (bezw. die Ersatzfasern) und das Mark ausdauernder Stämme wandern dann die Assimilate ein, um als Stärke, Rohrzucker (so bei der Zuckerrübe, deren Zuckergehalt von 5—8% durch Zuchtwahl bis zu 18% [bezw. 21 und 26%] gesteigert worden ist), Inulin (Compositen) oder Reservecellulose (Frucht von Phytelephas, der Elfenbeinpalme) dort aufgespeichert zu werden. Merkwürdiger ist die Umwandlung von Kohlehydraten in Fette und Öle, wie sie besonders in reifenden und reifen Samen beobachtet wird, wie sie bei manchen Pflanzen aber auch in den vegetativen Geweben und im Fruchtfleisch (Olive, Ölpalme) eintritt. Auch in dem Holzkörper vieler Bäume verwandelt sich die Stärke winterlich in Öl, welches im Frühjahr wieder in Stärke zurückverwandelt wird. Beim Austreiben der Knospen geht dann auch die Stärke wieder in Glukosen oder Maltose über, welche mit dem Transpirationsstrom den jungen Trieben zugeführt werden. Andere Reservestoffbehälter enthalten fast keine Kohlehydrate, dafür aber um so mehr Eiweißstoffe in Form von dichtem Plasma oder von Aleuronkörnern, Proteïnkristallen und neben Eiweiß Fett (Samen von Ricinus). Daß beim Keimen der jungen Pflanzen aus ganz verschiedenem Bildungsmaterial gleiche Gewebe mit Plasma, Zellkern, Membranen u. s. f. entstehen, beweist, daß die Pflanzen alle diese Stoffe als Baustoffe fast gleich gut zu ver-

wenden vermögen. Das rührt eben daher, daß die Pflanze Kohlehydrate, Fette und Eiweißkörper scheinbar ohne jede Schwierigkeit ineinander überführt, was uns mit den umständlichsten chemischen Verfahren und Hilfsmitteln noch nicht gelingt.

Andere Stoffwechselprodukte.

Mit den hier erwähnten Stoffen ist aber der Chemismus der Pflanzenzellen keineswegs erschöpft; die Zahl der in Pflanzen gefundenen und aus der Substanz der ersten Assimilate sich ableitenden Substanzen ist geradezu unübersehbar; von den meisten kennt man aber weder die Art ihrer Entstehung, noch ihre volle Bedeutung im Stoffwechsel. Nicht einmal von den im Zellsafte der Pflanzen sehr häufigen organischen Säuren (Äpfel-, Wein-, Zitronensäure u. a.), die zum Teil als Produkte unvollständiger Atmung entstehen, und von den so sehr verbreiteten Gerbstoffen kennt man die Bedingungen des Auftretens und Wirkens. Im Unklaren ist man auch noch über die Rolle der Glukoside; dies sind wasserlösliche Verbindungen von Zuckern mit verschiedenartigen Stoffen, welche durch Fermente oder verdünnte Säuren leicht zerlegt werden, wobei meist unter Wasseraufnahme neben anderen Spaltungsprodukten Glukosen entstehen. Es wäre denkbar, daß es sich bei Bildung der Glukoside (und Gerbstoffe) um lokale Bindung derartiger, sonst leicht diosmierender Stoffe handelte. Ist doch auch das als Reservestoff dienende Polysaccharid Stärke, gleich der Cellulose, ein Glukosid der Zucker selbst. — In Amygdalaceen tritt das Amygdalin auf, das bei Spaltung durch Fermente Blausäure liefert, in den Solaneen das giftige Solanin, in Cruciferen (Senfsamen) die Myronsäure, in der Rinde der Roßkastanien das stark fluoreszierende Aesculin, in Digitalisarten das giftige Digitalin, in Weidenrinden das Salicin usw. Gewisse Pflanzen (Indigofera tinctoria, Polygonum tinctorium) enthalten Indican, das Glukosid des Indoxyls, welch' letzteres durch Oxydation den Indigofarbstoff liefert. (Der Färberwaid, Isatis tinctoria, enthält dagegen das verwandte Glukosid Isatin) (44). Im Cambialsafte der Koniferen ist das Coniferin enthalten, welches eine technische Bedeutung erlangt hat insofern, als das Vanillin, der stark riechende Bestandteil der Vanillefrucht, künstlich daraus gewonnen wird. Das Coniferin zerfällt nämlich durch Ferment- oder Säurewirkung in Glukose und Coniferylalkohol, durch dessen Oxydation als Aldehyd das Vanillin entsteht. (In den Blättern der Vanillepflanze ist dieses nach Busse, in einem Glukosid gebunden, auch vorhanden und wird in den reifenden Früchten aus letzterem frei.)

Unbekannt ist es noch, welche Rolle die Bitterstoffe, wie z. B. das Lupulin des Hopfens, das Aloïn der Aloëarten, das Absynthin des Wermutes und die Alkaloide im Stoffwechsel der Pflanze spielen. Da die meisten Alkaloide, das Strychnin, Brucin, Veratrin, Coniin, Muscarin, Atropin, Chinin, Morphin, Codeïn, Aconitin, Colchicin, Nicotin, Pilocarpin, Cocaïn, wie auch die mit der Harnsäure nahe verwandten Purinderivate Coffeïn (Theïn) und Theobromin und viele andere für den tierischen Körper heftige Gifte sind, so gewähren diese Pflanzenbasen, ebenso wie die abstoßenden Bitterstoffe, tierischen Feinden gegenüber einen gewissen Schutz. Dabei ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß Gifte im Pflanzenkörper selbst zunächst eine bedeutsame Rolle spielen können, wie es bei der Blausäure zuzutreffen scheint, die nach Treub z. B. in Pangium edule beim Transport und der Bildung von Proteïnstoffen eine ähnliche Rolle spielt wie in anderen Pflanzen die Amide (45). — Es mag nebenbei bemerkt werden, daß die Alkaloide auch auf das pflanzliche Protoplasma im allgemeinen vergiftend wirken.

Wenn auch nur in geringen Gewichtsmengen vorhanden, so machen sich die Farbstoffe und ätherischen Öle unserem Gesichts- und Geruchssinn doch ganz besonders auffällig bemerkbar. Sie stellen augenscheinlich nur Neben- und Endprodukte des Stoffwechsels dar, welchen, wenn man vom Chlorophyll absieht, in der Pflanze selbst keine bedeutsame Rolle mehr zufällt, die aber der Tierwelt gegenüber ganz besonders hervortreten und dadurch dem Gedeihen der Pflanzen, sei es durch Anlockung der Tiere (in Blüten und Früchten) oder durch Abstoßung derselben (als Schreck-

farben) förderlich werden. Ihre Bedeutung in der äußeren Lebensführung (Ökologie) ist uns daher weit bekannter als ihre Rolle in den inneren Lebensvorgängen. So wie die ätherischen Öle Ausscheidungsprodukte des Pflanzenkörpers sind, welche häufig in besonderen Drüsenräumen untergebracht werden, so treten auch die Harze, die Gummiharze und Gummischleime meist in besonderen Kanälen oder Drüsenhöhlen auf; sie sind oft mit ätherischen Ölen gemischt. Ob ihre Bildung ein notwendiges Glied im normalen Stoffwechsel der harzführenden Pflanzen darstellt, ist ganz unbekannt. Jedenfalls werden sie der Pflanze nützlich bei Verwundungen, als Schutz gegen Austrocknung und gegen das Eindringen von Parasiten. Münden doch auf einem Quadratcentimeter Außenfläche des äußersten Jahresrings durchschnittlich 60—70 Harzkanäle bei der Kiefer, deren Splintholz nach Mayr pro Kubikmeter über 22 Kilo Harz enthält.

In ihrer Bedeutung für die Pflanze ebensowenig erkannt sind die sogen. Federharze, Kautschuk und Guttapercha, in den Milchsäften. In Milchsäften treten außer diesen Federharzkügelchen aber auch noch andere Harze, sodann ätherische Öle, Alkaloide (im Opium), Leptomin, Stärkekörner und andere Kohlehydrate, Öltröpfchen, Gerbstoffe und Eiweißkörper auf. Das Vorkommen von wertvollen Baustoffen in den Milchsäften wie auch besonders der gelegentliche Gehalt derselben an wirksamen Enzymen (peptonisierende bezw. tryptische Fermente sind im Milchsaft von Ficus Carica und Carica Papaya gefunden) legten die Vermutung nahe, daß die Milchröhren und Gefäße dem Transport von Nährstoffen dienen könnten. Der uns bis jetzt bekannte Nutzen dieser oft ätzend scharfen und giftigen Säfte beschränkt sich aber auf äußerliche Verhältnisse. Durch die eben genannten Eigenschaften gewähren sie der Pflanze einesteils Schutz gegen Tierfraß, und da bei Verletzungen der Milchsaftbehälter der Milchsaft von den umgebenden turgeszierenden Geweben oder von der elastisch gedehnten Behälterwand selbst hervorgepreßt wird, so bilden die dicken, an der Luft gerinnenden und eintrocknenden Tropfen andernteils einen wirksamen Wundverschluß. Dem gleichen Zweck dient bei anderen Pflanzen, besonders bei Holzgewächsen, Schutz- oder Kerngummi (S. 109, 123).

Besondere Ernährungsweisen.

Parasiten, Saprophyten, Symbionten und Carnivoren. Die Gewinnung der organischen Substanz durch die Assimilationstätigkeit grüner Zellen ist die bei den Pflanzen weitaus häufigste Art der Ernährung, weshalb sie auch wohl als die „normale“ bezeichnet worden ist. Erst auf Kosten der von grünen Pflanzen reichlich produzierten organischen Substanz konnten gewisse Pflanzen zu anderer Ernährungsweise übergehen, bei welcher sie von fertig zubereiteter organischer Substanz zehren. Sie verzichten auf die Ausbildung eines ausreichenden Chlorophyllapparates und haben damit die Fähigkeit eingebüßt, aus anorganischen Stoffen sich ihre Nahrung zu formen.

Ein ganzes Heer derartiger nichtgrüner Pflanzen zehrt von der organischen Körpersubstanz abgestorbener Tier- und Pflanzenreste. Ihm fällt alle bestehende und vergängliche Materie nach längerer oder kürzerer Zeit des Lebens einmal zu und es ist vorzugsweise das Verdienst der Ernährungs- und Zersetzungstätigkeit jener chlorophylllosen Pflanzen, wenn die abgestorbenen Pflanzen- und Tierkörper bei der Jahrtausende langen Zufuhr nicht in hohen Schichten die Erdoberfläche bedecken. — Mit der Besitzergreifung solch’ herrenlos gewordener Materie begnügen sich jene eigenartigen Pflanzen jedoch nicht allein, und es kommt ein geradezu gewalttätiger Zug in die sonst so friedliche Pflanzenernährung, wenn lebende Organismen, Tiere wie Pflanzen, von ihnen angefallen, ausgeraubt und getötet werden.

Es sind vor allem die zahllosen Bakterien und Pilze, welche von fremden organischen Stoffen parasitisch (d. h. von der Körpersubstanz lebender Wesen) oder saprophytisch (d. h. von abgestorbenen Resten und leblosen

organischen Stoffen) sich ernähren. Aber auch aus der Reihe der höheren phanerogamen Pflanzen sind einige Arten aus verschiedenen Familien zu solcher Ernährungsweise übergegangen.

Merkwürdig sind die Wandlungen, welche die Organisation und die Funktionen dieser höheren Pflanzen durch die veränderte Ernährungsweise erfahren haben. Sie führen uns zugleich vor Augen, wie sehr die Chlorophyllernährung die Ausgestaltung der grünen Pflanzen beeinflußt. Mit dem Zurücktreten oder dem Verschwinden des Chlorophylls in den Schmarotzern verschwinden die, speziell für die Assimilation eingerichteten großen Blattflächen; die Blätter werden zu unscheinbaren Schüppchen, denn das Licht spielt keine Rolle mehr bei der Ernährung. Auch eine lebhafte Transpiration zur Unterstützung der Assimilation ist nicht mehr nötig; die Vasalteile der Gefäßbündel bleiben daher schwach entwickelt, und eine nachträgliche Holzbildung findet in größerem Umfange nicht statt. Diesem Fortfall der Assimilationseinrichtungen steht aber die Ausbildung neuer Fähigkeiten gegenüber, welche es dem Parasiten gestatten, in den Körper des befallenen Organismus einzudringen und derart in dessen Stoffwechsel und seine Bahnen einzugreifen, daß eine ausgiebige Beraubung erfolgen kann. — Handelt es sich aber nur um die Aufnahme organischer Substanzen aus abgestorbenen Organismen, dann können die äußeren Einrichtungen zur Nahrungsaufnahme denjenigen zur Erlangung der Mineralsalze ähnlicher bleiben; es kommt dann nur auf eine innige Berührung mit den organischen Resten an.

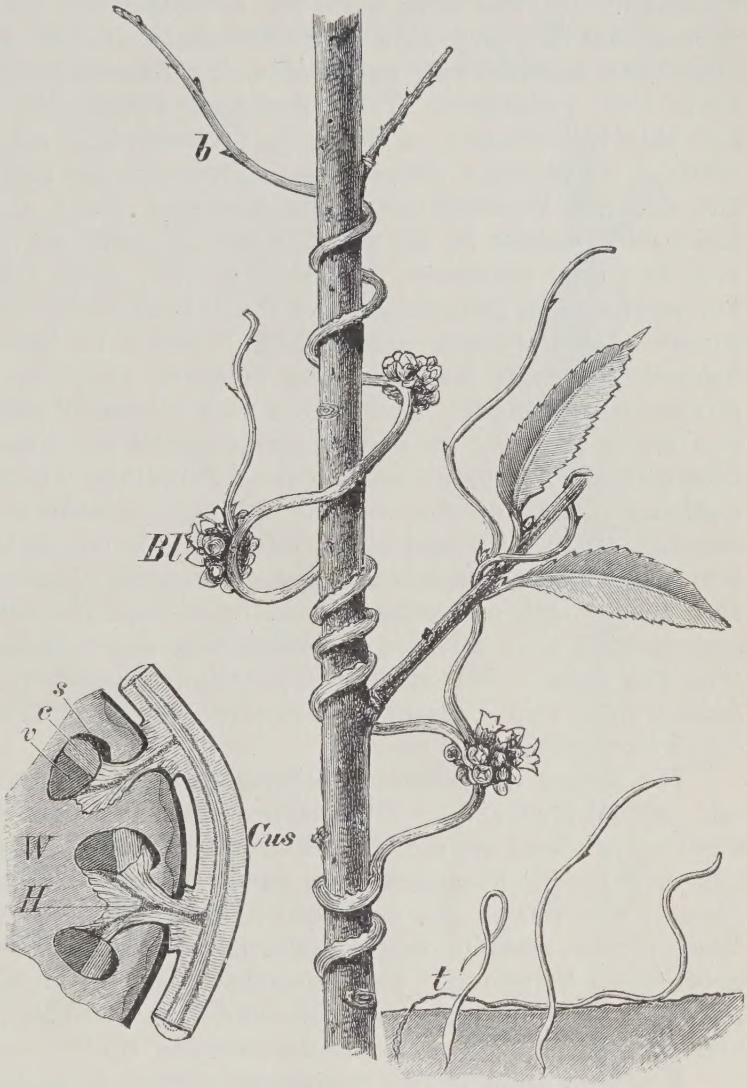


Fig. 199. In der Mitte ein Weidenzweig, umwunden von der schmarotzenden Cuscuta europaea. An den warzenförmigen Anschwellungen des Cuscuta-Stengels treten Haustorien in die Weide ein. *b* reduzierte Blättchen, *Bl* Blütenknäuel. Links: Verbindung des Schmarotzers (*Cus*) mit einer Wirtspflanze *W*. Die Haustorien *H* dringen teils in das Rindenparenchym ein, teils legen sie sich dicht an den Vasalteil *v* und den Cribralteil *c* der Gefäßbündel an, deren Sklerenchymkappe *s* sie zum Teil abheben. Rechts: Keimende Cuscuten; der längste Keimling auf dem Boden kriechend, indem er vorn auf Kosten des absterbenden Teils *t* weiterwächst.

Als Beispiel einer parasitisch lebenden Phanerogame sei hier die zur Familie der Convolvulaceen gehörige Cuscuta europaea betrachtet, obgleich deren Chlorophyllgehalt, wenn er auch nur sehr gering ist, noch an die normal assimilierenden Pflanzen erinnert. Der Chlorophyllgehalt ist aber so unwesentlich, daß Cuscuta als Parasit vorzüglich ausgerüstet ist.

Rechts unten in Fig. 199 sind Cuscutakeimlinge dargestellt, wie sie sich im Frühjahr aus den Samen, in denen sie schlangenartig aufgerollt lagen, entwickeln. Schon der Keimling verzichtet auf die Ernährung mittels der Kotyledonen, welche verkümmert sind. Auch das Keimwürzelchen stirbt immer sehr bald ab. Das Keimstengelchen aber streckt sich sofort zu einem langen dünnen Faden aus, dessen freies Ende sich in weitem Kreise herum bewegt und eine in seinem Bereich wachsende Nährpflanze dadurch unfehlbar auffindet. Ist von dem Orte der Keimung aus keine Wirtspflanze zu erreichen, dann vermag der Keimling eine kurze Strecke weiter zu kriechen, indem er am hinteren Ende (Fig. 199 *t*) abstirbt und auf Kosten der, diesem Ende entzogenen Nährstoffe am vorderen Ende sich verlängert. Trifft das freie Fadenende bei seinem Kreisen aber schließlich auf eine Nährpflanze, z. B. einen Weidenschoß oder einen Brennesselstengel, so umschlingt es dieselbe gleich einer Schlingpflanze und unmittelbar darauf entwickeln sich aus der der Wirtspflanze angeschmiegten Seite zunächst papillöse Wucherungen der Epidermis, welche in die Gewebe der Wirtspflanze eindringen. Finden diese Prähaustorien dort zusagende Verhältnisse vor, dann folgt ihnen sehr rasch die Ausbildung der eigenartigen Saugorgane, der Haustorien (*H*) (S. 41) nach. Letztere brechen aus dem Innern des Parasiten hervor und besitzen in hohem Grade die Fähigkeit, mit Hilfe lösender Fermente und des beim Wachsen ausgeübten Druckes in den Körper der Wirtspflanze einzudringen. Sie breiten sich scheinbar ohne Schwierigkeit im fremden Gewebe aus, legen sich eng an dessen Gefäßbündel an, während einzelne, aus dem Körper des Haustoriums hervorsprossende freie Zellreihen wie Pilzfäden in dem zarten Parenchym vordringen und diesem weitere Nahrung entnehmen. Da, wo sich das Haustorium an den Gefäß- und Siebteil eines Gefäßbündels herangedrängt hat, bilden sich in dem vorher zartwandigen Haustoriumgewebe sowohl Elemente des Gefäßteils als des Siebteils aus, welche sich einerseits an die Gefäß- und Siebteile des Wirtes organisch anschließen, andererseits aber mit den Gefäßbündeln des Schmarotzerstengels in Verbindung treten (Fig. 199 links). Wie ein der Wirtspflanze angehöriges Seitenorgan entnimmt dann der Schmarotzer sein Transpirationswasser deren Gefäßteil und seine plastischen Nährstoffe deren Parenchym und Siebteil.

Die Samen der ebenfalls schmarotzenden Orobanchen werden durch die Berührung mit den Wurzeln der Wirtspflanze erst zum Keimen veranlaßt und ihre Haustorien bleiben zeitlebens auf die Wurzel ihrer Nährpflanze beschränkt; es kommen nur die hellgelblichen, hell rötlichbraunen oder amethystblauen spargelartigen Blütensprosse neben dem Stengel des Wirtes aus der Erde hervor. Auch die Orobanchen enthalten noch geringe Mengen von assimilierenden Chlorophyllkörpern. Beide, Cuscuta und Orobanche, sind gefürchtete Feinde der Landwirtschaft, da sie an Kulturgewächsen, erstere als sogen. „Teufelszwirn“, „Flachs- und Kleeseide“, letztere als „Würger“ großen Schaden anrichten und schwer von einem Acker auszurotten sind.

Manche ausländischen Schmarotzerpflanzen, so besonders die Rafflesiaceen, sind derart in ihrer parasitischen Lebensweise aufgegangen, daß sie überhaupt keine frei auftretenden Pflanzenkörper mehr bilden, sondern ganz innerhalb der Wirtspflanze wachsen, aus der dann zeitweise die fremdartigen Blüten des Schmarotzers überraschend hervorbrechen. So ist der Vegetationskörper der Pilostylesarten in einzelne Zellreihen aufgelöst und durchwuchert ganz wie ein Pilzmycelium kleinasiatische Astragalusarten. Nur die Blüten des Schmarotzers brechen seitlich aus den Blattachseln der Nährpflanze hervor ([46]).

Gegenüber diesen Schmarotzern, welche in die größte Abhängigkeit von ihrer Nährpflanze geraten sind, gibt es aber auch Parasiten, welche äußerlich noch sehr selbständig auftreten, große grüne Blätter besitzen und damit kräftig assimilieren können. Trotzdem entwickeln sich diese Pflanzen in der Regel nur dann völlig normal, wenn ihr Wurzelsystem mittels scheibenförmiger Haustorien fremde Wurzeln (oder zur Not selbst die Individuen der eigenen Art, wie dies auch bei Cuscuta vorkommt) befällt. Diese merkwürdige Ernährungsweise zeigen mehr oder weniger ausgeprägt die einheimische Santalaceengattung Thesium wie auch die Rhinanthaceen Rhinanthus, Euphrasia, Pedicularis, Bartschia und Tozzia, von denen letztere, zumal in den ersten Entwicklungsstadien, die parasitische Lebensweise am meisten

ausgeprägt zeigt. Unsere einheimische in Holzgewächsen wurzelnde Mistel (Viscum album) besitzt, wie viele ihrer fremdländischen Verwandten unter den Loranthaceen, ebenfalls noch stattliche Blätter und ist so reich an Chlorophyll, daß sie ihren Bedarf an Kohlehydraten wohl vollständig selbst zu decken vermag, während ihr reduziertes Wurzelsystem, wie es HEINRICHER auch für die obengenannten Rhinanthaceen wahrscheinlich gemacht hat, auf das Nährwasser einer Wirtspflanze mit leistungsfähigeren Wurzeln angewiesen ist. Unter den Rhinanthaceen hat sich dagegen Melampyrum nebenher auf saprophytische Ernährung eingerichtet (47).

Ganz auf saprophytische Lebensweise sind vornehmlich einige humusbewohnende Orchideen (Neottia, Coralliorrhiza u. a.), sowie die Monotropeen angewiesen, deren einheimischer Vertreter, der Fichtenspargel (Monotropa Hypopitys), ebenso wie die genannten Orchideen, die verwesende Lauberde unserer Wälder ausnutzt.

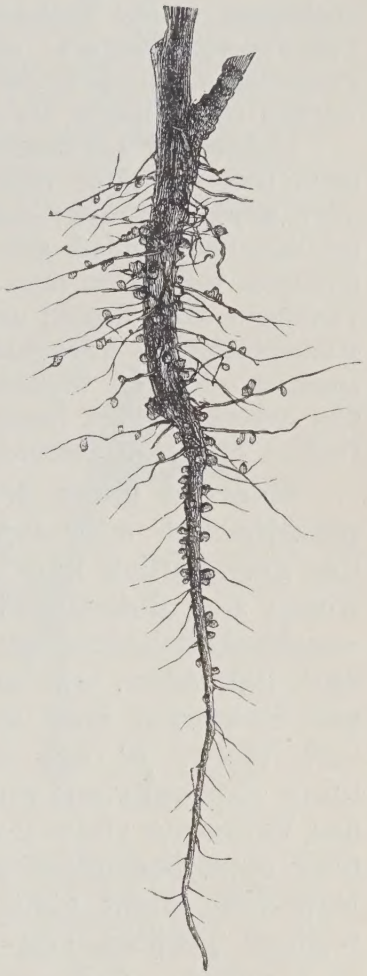


Fig. 200. Eine aus dem Boden gehobene Wurzel der Feldbohne (Vicia Faba), dicht besetzt mit Bakterienknöllchen. Verkleinert.

Die Wurzeln und Rhizome dieser Saprophyten stehen, wie übrigens auch die Wurzeln der meisten grünen Pflanzen, welche den humusreichen Boden der Wälder und der Heiden bevölkern, in engster Beziehung zu Pilzfäden. Diese finden sich entweder innerhalb der Wurzel, in bestimmten Rindeschichten in Massen knäuelartig aufgerollt, wobei nur ganz vereinzelte Fäden sich nach außen ausbreiten, oder aber sie umgeben bei anderen Pflanzen die jungen Wurzeln mit einer dichten verfilzten Hülle. Im ersten Falle spricht man von endotropher, im letzteren von exotropher Mykorrhiza, deren Extreme aber in anderen Fällen durch mannigfache Zwischenstufen verbunden sind. Bei exotropher Mykorrhiza erscheint ein direkter Stoffaustausch zwischen Wurzel und Boden ausgeschlossen. Hieraus, wie auch aus der Tatsache, daß die chlorophyllosen Schmarotzer, trotz der geringen Berührungsflächen ihrer kurzen dicken Wurzeln und Rhizome mit dem verwesenden Humus, diesem so reichlich Nahrung entziehen, schließt man auf irgend eine Mitwirkung der Pilzfäden bei der Ernährung jener Gewächse, was auch vergleichende Kulturversuche wahrscheinlich machen. Für die endotrophe Mykorrhiza wurde durch die Arbeiten von W. MAGNUS, SHIBATA und HILTNER die Angabe von JANSE bestätigt, daß der Pilz der Wurzel Stickstoff in gebundener Form liefere. STAHL dagegen erblickt die Bedeutung der Mykorrhizen in der besseren Zufuhr der Bodensalze, womit freilich nur den grünen Pflanzen gedient sein könnte (48).

Besser bekannt sind die Beziehungen, welche zwischen gewissen Bakterien und den Wurzeln der Leguminosen bestehen. Die Wurzeln der Leguminosen, der Bohnen, Erbsen, der Lupinen, des Klees u. a. tragen eigenartige Auswüchse, sogen. Wurzelknöllchen (Fig. 200). Diese Knöllchen, von denen man bis zu 4000 an einer Erbsenpflanze zählen kann, werden von gewissen Bodenbakterien, zumal von verschiedenen Rassen des Bacillus radicicola (Rhizobium leguminosarum) verursacht. Diese Bakterien dringen durch die Wurzelhaare, deren Wand sie lokal verquellen, in die Rinde der Wurzel ein, verursachen hier die genannten Wucherungen und füllen dieselben mit einer Bakterienmasse an, welche schließlich zum größten Teil in abnorm gebildete Involutionsformen, die sogen. Bakteroiden, übergeht und nur zum kleineren Teil noch aus normal gebliebenen Bakterien bestehen bleibt. Erstere, die in neuester Zeit auch als die Sporenbildung vorbereitende Metamorphosen angesehen werden, scheinen von der Nährpflanze partiell resorbiert zu werden, letztere bleiben mit den Wurzelresten im Boden erhalten. Wie die Entdeckungen HELLRIEGELS und die Untersuchungen von NOBBE, BEYERINCK, HILTNER

u. a. bewiesen haben, handelt es sich hier um eine Art gegenseitigen Parasitismus, eine auf wechselseitiger Ergänzung beruhende Lebensgemeinschaft, wie sie von De Bary als Symbiose bezeichnet worden ist. Während das Bakterium von dem Überschuß der von der Wirtspflanze erzeugten Kohlehydrate zehrt, kommt der Wirtspflanze die Fähigkeit des Eindringlings zu gute, den atmosphärischen Stickstoff mittels eines von Hiltner nachgewiesenen Enzyms binden zu können. Indem die Leguminose der Bakterienzelle einen Teil des Stickstoffs entzieht, veranlaßt sie seine regulatorische Neubildung und erschließt sich damit eine stetig fließende Stickstoffquelle, die, wie erwähnt, durch teilweise Resorption der Bakteroidensubstanz noch ergänzt wird. Man hat berechnet, daß Lupinen pro ha auf diesem Wege über 200 kg Stickstoff zu gewinnen vermögen. — Die Tatsache, daß derartige knöllchenbildende Leguminosen, abweichend von anderen Pflanzen, selbst auf stickstoffarmen Böden gut zu gedeihen und reichlich Proteïnstoffe zu speichern vermögen, war schon Plinius bekannt und die Leguminosen wurden schon längst als bodenbereichernde Pflanzen (Stickstoffsammler) bezeichnet[49].

Stehen der Leguminose genügend mineralische Nitrate im Boden zur Verfügung, dann tritt mit ihrer vegetativen Erstarkung die Infektion und Knöllchenbildung mehr oder weniger zurück; eine gleiche Immunität gegen weitere Infektion wird durch den kräftigenden Einfluß schon funktionierender Knöllchen bewirkt. — Außer den Leguminosen, von denen man bisher nur Gleditschia triacanthos knöllchenfrei gefunden hat, vermögen nach Nobbe und Hiltner auch Elaeagnus und Alnus sich die Quelle des freien atmosphärischen Stickstoffs zu erschließen, wenn ihre Wurzeln durch Infektion mit anderen niederen Organismen Knöllchen ausbilden. Dieselben Autoren lieferten auch den experimentellen Nachweis, daß der mykorrhizaführende Podocarpus den atmosphärischen Stickstoff auszunutzen versteht.

Während unter den höheren Pflanzen nur vereinzelte Arten ganz zur parasitischen oder saprophytischen Lebensweise übergegangen sind, andere nur gelegentlich und nebenher tote organische Substanz oder andere Lebewesen sich dienstbar machen, treten unter den niederen Pflanzen große Verwandtschaftskreise mit unzähligen Gattungen und Arten, nämlich die Pilze und Bakterien, als ausschließliche Parasiten und Saprophyten auf. Pilze und Bakterien sind teils reine Parasiten, die oft auf bestimmte Pflanzen und Tiere, ja auf engbegrenzte Teile derselben angewiesen sind, teils reine Saprophyten; andere sind beides zugleich, je nach Umständen. Was das Verhalten vieler Bakterien und Pilze ihrem organischen Nährboden gegenüber ganz besonders merkwürdig macht, ist ihre Eigenschaft, die gebotenen Nährstoffe nicht völlig zu ihrer Ernährung auszunutzen, sondern oft den weitaus größten Teil durch fermentative Wirkungen so zu zersetzen und zu zerstören, daß sogar ihre eigene Entwicklung sehr bald gehemmt wird. Wird ein Apfel von einem Schimmelpilz befallen (wobei der Angriff auf die gesunde Epidermis meist mit einer Giftausscheidung eingeleitet wird), so begnügt sich dieser nicht mit der Wegnahme der äußerst geringen Stoffmenge, die er zu seiner Entwicklung benötigt, sondern er macht durch seine Einwirkung den ganzen Apfel bald durch und durch faul, indem er dessen festes Gewebe unter Verfärbung in eine weiche, übelriechende Masse verwandelt, die ihm das eigene Gedeihen unmöglich macht. — In die mit Gärung und Fäulnis meist verbundene Ernährungstätigkeit dieser Organismen greifen besondere Atmungsvorgänge, die man als intramolekulare (S. 194) bezeichnet, gewöhnlich mit ein. Jene Zersetzungsprozesse sind so energisch, daß oft eine erhebliche Wärmeentwicklung dabei stattfindet. Die Wärmeentwicklung in faulendem Mist wird bekanntlich in den Mistbeeten ausgenützt; feuchtes, gärendes Heu und feuchte Rohbaumwolle sollen sich oft (wohl mit Hilfe leicht entzündlicher Gase) bis zur Selbstentzündung erhitzen, und bei keimender Gerste hat man Temperatursteigerungen von 40—70 und mehr Grad beobachtet. Diese sind, nach Cohn, durch die zersetzende Tätigkeit eines Schimmelpilzes, des Aspergillus fumigatus

bedingt. Die Erhitzung der feuchten Rohbaumwolle, die schon zu Schiffsbränden Anlaß gegeben, wird dagegen durch einen Mikrococcus veranlaßt. — Geronnenes Eiweiß und koagulierte Gelatine werden von vielen Pilzen und Bakterien verflüssigt und die auftretenden Fäulnisgase (Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Schwefelammonium, Ammoniak, Wasserstoff u. a.) beweisen, wie tiefgreifend die Zersetzung des Substrates ist, in die auch anorganische Substanzen hereingerissen werden können. So macht das Penicillium brevicaule und andere Schimmelpilze aus arsenhaltigem Substrat (Zimmertapeten!) gasförmige, äußerst giftige Arsenverbindungen frei, eine Eigenschaft, die mittels der Gosioschen Methode zum Nachweis kleinster Arsenmengen benutzt wird (50). Jene gründlichen Zersetzungen bewirken hauptsächlich die erwähnte Wegräumung der abgestorbenen Organismen. Die äußerst giftigen Substanzen, welche nebenbei oft gebildet werden, veranlassen die schweren Krankheitserscheinungen, welche Pilze und Bakterien in dem Körper lebender Wesen hervorrufen können (Kartoffelkrankheit, Rost des Getreides,

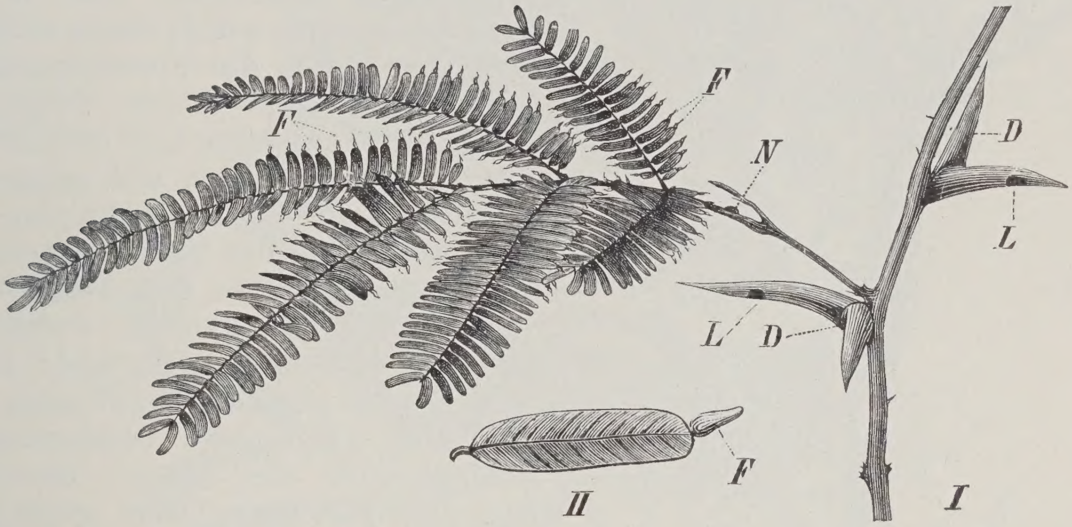


Fig. 201. Acacia sphaerocephala, eine Ameisenpflanze. *I* Stammstück mit Dornen (*S*) und einem Blatte. Die hohlen Dornen werden von Ameisen unterseits angebohrt und bewohnt. An den basalen Blattfiederchen die Futterkörper *F*. Auf dem Blattstiel bei *N* ein Nektarium. Verkleinert. *II* Einzelnes Blattfiederchen mit dem Futterkörper *F*, etwas vergrößert.

Cholera, Typhus, Diphtheritis, Milzbrand usw.). Pflanzen und zumal Tiere vermögen sich ihrerseits gegen den Angriff jener Mikroorganismen dadurch zu schützen, daß sie „Schutzstoffe" besitzen oder nachträglich ausbilden, welche, wie auch die Stoffwechselprodukte der Parasiten selbst, für diese spezifische Gifte sind, ein Umstand, den die Therapie mehr und mehr mit Erfolg zur Bekämpfung der Infektionskrankheiten benutzt.

Während man bisher als Erreger der ansteckenden Krankheiten stets Mikroorganismen annehmen zu müssen glaubte, ist von Beyerinck ein unorganisiertes, aber im Plasma vermehrungsfähiges „Contagium fluidum" als Ursache der Fleckenkrankheit der Tabaksblätter angegeben worden (51).

Neben der merkwürdigen und für ihre Existenz höchst unvorteilhaft erscheinenden Eigenschaft, den eigenen Nährboden durch Gärung und Fäulnis zu zerstören, besitzen Pilze und Bakterien aber auch die Fähigkeit, einen nicht geeigneten Nährboden für sich brauchbar zu machen. Durch invertierende Enzyme können sie den für sie ungeeigneten Rohrzucker in brauchbaren Invertzucker überführen und sie vermögen andererseits durch geeignete Enzyme auch aus Stärke, selbst aus Cellulose, Glukosen und Maltose herzustellen.

Wie aus dem Gedeihen von Pilzen auf den verschiedensten Nährböden hervorgeht, sind dieselben im stande, mit Hilfe der allermannigfaltigsten Kohlenstoffverbindungen (auch solchen, wie weinsteinsaurem Ammoniak oder gar aus kohlensaurem Ammoniak) Protoplasma, Zellhaut, Nucleïn, Fett, Glukogen usw. zu bilden.

Nicht alle schmarotzenden Pilze aber fügen ihrer Nährpflanze durch Giftwirkungen einen die Nahrungsentziehung weit überbietenden Schaden zu. Anders als z. B. die baumtötenden Hutpilze verhalten sich viele Brandpilze, welche die vegetativen Teile der befallenen Pflanzen verhältnismäßig wenig schädigen. Die Einwirkung des schmarotzenden Pilzes auf die Nährpflanze erweist sich aber geradezu förderlich bei den Flechten. Diese wurden früher als eine den Algen und Pilzen völlig gleichwertige dritte Gruppe der niederen Kryptogamen betrachtet; erst in den letzten Jahrzehnten wurde durch de Bary, zumal aber durch die Forschungen von Schwendener und Stahl festgestellt, daß der Flechtenkörper kein einheitlicher Organismus ist, sondern sich zusammensetzt aus Algen (bezw. Spaltalgen), die auch sonst frei in der Natur vorkommen, und besonderen, meist den Ascomyceten zugehörigen Flechtenpilzen, welche mit seltenen Ausnahmen sonst nicht saprophytisch oder parasitisch gefunden werden. Die Pilzhyphen umspinnen im Flechtenkörper die Algen, überlassen ihnen den zur Assimilation günstigsten Platz auf der Oberseite ihres blattartigen, oder an der Außenseite ihres cylindrischen Thallus, treten mit ihnen in innige Berührung und entziehen denselben einen Teil ihrer Assimilate. Dafür liefert der Pilz nicht nur das Nährwasser, sondern, wie es nach den Untersuchungen Artaris wahrscheinlich ist, auch Pepton, so daß die Algen in dem Flechtenkörper nicht nur nicht erschöpft werden, sondern sogar sich kräftiger entwickeln als in freiem Zustande und sich durch Teilung lebhaft vermehren. Beiderlei Bestandteile der Flechten ziehen aus der Lebensgemeinschaft demnach bestimmte Vorteile und so bilden diese Genossenschaften einen der typischsten Fälle pflanzlicher Symbiose (52).

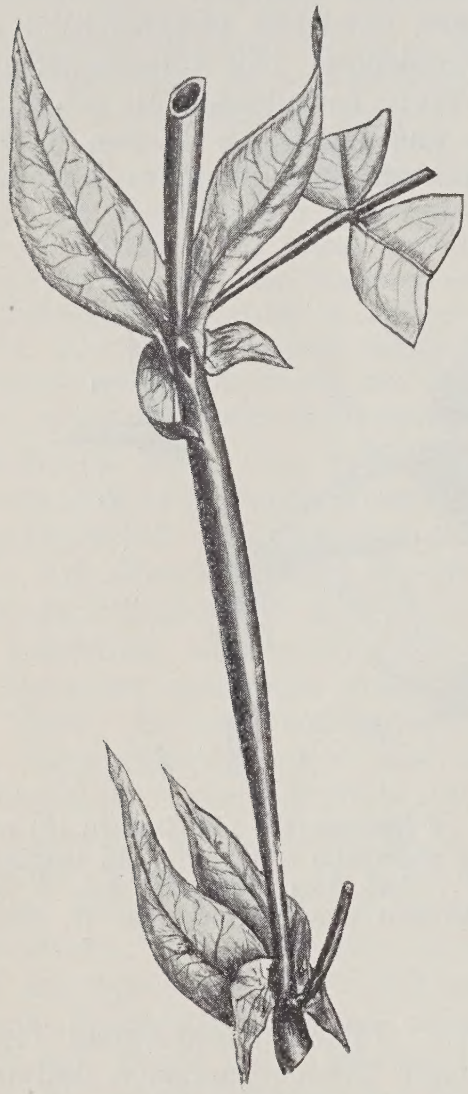


Fig. 202. Humboldtia laurifolia mit der Eingangsöffnung zu den hohlen Internodien. Aus Schimper, Pflanzengeographie.

Weniger erkennbar ist der Grund, der die Spaltalgen Nostoc und Anabaena regelmäßig in Cycadeenwurzeln oder in die Blätter von Azollen (S. 356) und in andere Wasserpflanzen führt (53).

Neben diesen Fällen von pflanzlicher Symbiose mögen die Lebensgemeinschaften von Pflanzen mit Tieren eine kurze Erwähnung finden. Ebenso wie die genannten Flechtenpilze beuten nach Brandt auch niedere Tiere einzellige Algen aus, indem sie sich deren Assimilationsprodukte aneignen ohne die Alge selbst zu zerstören. Süßwasserpolypen (Hydra), Schwämme (Spongilla), Ciliaten (Stentor, Paramecium), auch

Heliozoën, Würmer (Planarien) und Amöben (A. proteus) zeichnen sich oft durch eine tiefgrüne Färbung ihres Körpers aus: So zahlreich sind die Algen, welche sie in ihren Geweben beherbergen und von deren Assimilaten sie ausschließlich oder doch mit zehren. Dieselbe Rolle, wie hier die grünen Algen, spielen bei Radiolarien die sogen. „gelben Zellen“, die als gelbe einzellige Meeresalgen erkannt wurden. — Eine andere merkwürdige Symbiose, bei welcher es sich aber nicht um so elementare Ernährungsfragen handelt, hat sich zwischen Pflanzen und Ameisen ausgebildet. Die sogen.

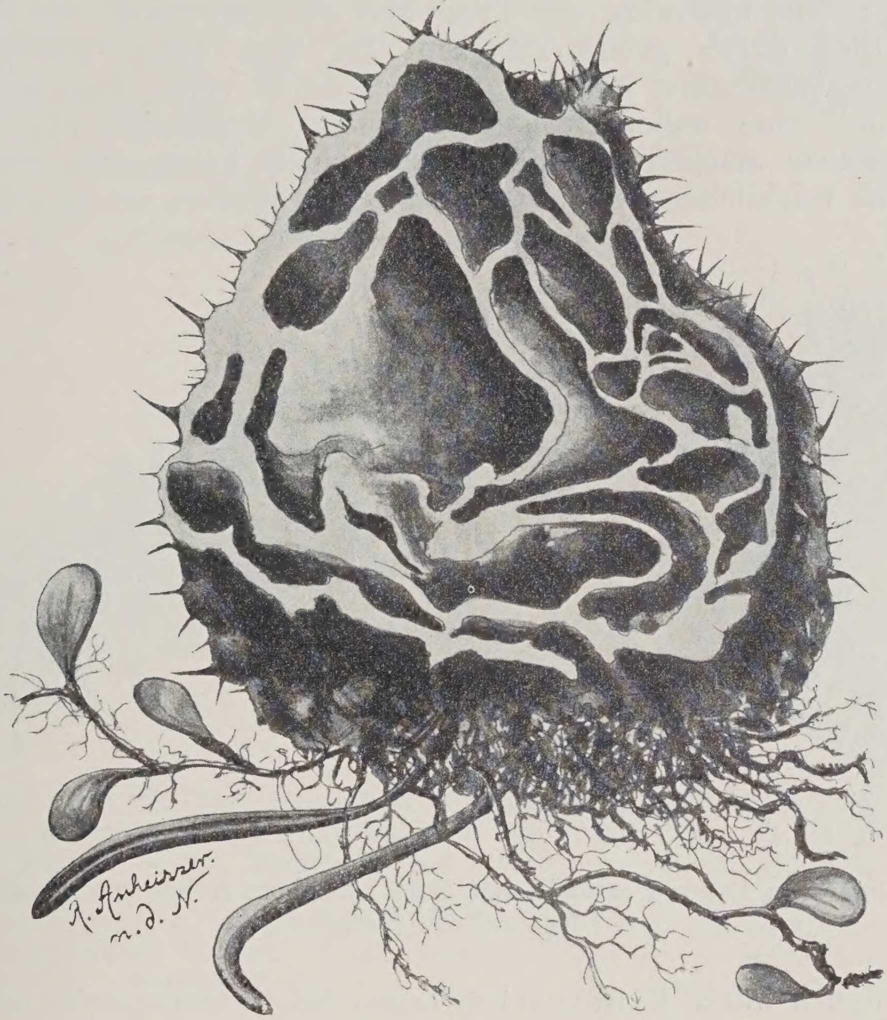


Fig. 203. Knollen von Myrmecodia echinata längs durchschnitten. Unten ein anderer Epiphyt. Nat. Gr. Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

Ameisenpflanzen (Myrmekophyten) bieten kleinen und äußerst kriegerischen Ameisen Wohnungen entweder in hohlen Stämmen (Cecropia), in großen hohlen Dornen (Acacia spadicigera und sphaerocephala, Fig. 201), in blasenartig aufgetriebenen Internodien (Humboldtia laurifolia, Fig. 202) oder in kopfgroßen labyrinthartig durchhöhlten Stammknollen (Myrmecodia, Fig. 203). Dabei wird den Ameisen oft noch Nahrung geliefert, von den Cecropien und Akazien in Gestalt von eiweiß- und fettreichen Körperchen (Fig. 201 *F*), von den Akazien außerdem noch durch Nektarien (Fig. 201 *N*). Dafür schützen die Ameisen die bewohnte Pflanze wirksam gegen tierische Feinde, zumal gegen die Blattschneiderameisen, welche im tropischen Amerika in kürzester Zeit große Pflanzen vollständig durch Abschneiden von Blattstückchen entblättern und zu Grunde richten können. Die Blattschneider leben, wie BELT und MÖLLER zeigten, aber auch ihrerseits in Symbiose mit einem Pilz (Rozites gongylophora), dessen Mycel sie auf den zusammengetragenen Blattstückchen (den „*Pilzgärten*“) in Reinkultur züchten und dessen nährstoffreiche, von ihnen selbst hervorgerufenen, eigenartigen Auswüchse ihnen aus-

schließlich als Nahrung dienen. Auch Termiten sind in letzter Zeit als Pilzzüchter erkannt worden[54]. — Ein bekanntes symbiotisches Verhältnis hat sich zwischen Blumen und Insekten (auch anderen Tieren) ausgebildet, bei welchem die Blume die Nahrung meist in Nektar und Blütenstaub, aber auch in Samenanlagen (Yucca-Motte und Feigengallwespe) spendet, die Tiere aber die Befruchtung vermitteln (S. 251 ff.), wodurch beide aufeinander angewiesen sind. Weniger eng ist das symbiotische Verhältnis bei der unbeabsichtigten Verbreitung nahrhafter und wohlschmeckender Früchte und Samen durch Tiere.

Zu den merkwürdigsten Tatsachen auf dem Gebiete der pflanzlichen Ernährung gehört unstreitig der Fang und die Verdauung von Tieren. Es geschieht dies durch grüne Pflanzen, die sich daher selbständig ihre Kohlehydrate verschaffen können, die aber durch eigenartige Einrichtungen sich nebenher eine außergewöhnliche Quelle stickstoffreicher organischer Nahrung nutzbar machen und dieselbe zu einem kräftigeren Gedeihen und vor allem zu reichlicherer Samenproduktion verwenden als es ohne tierische

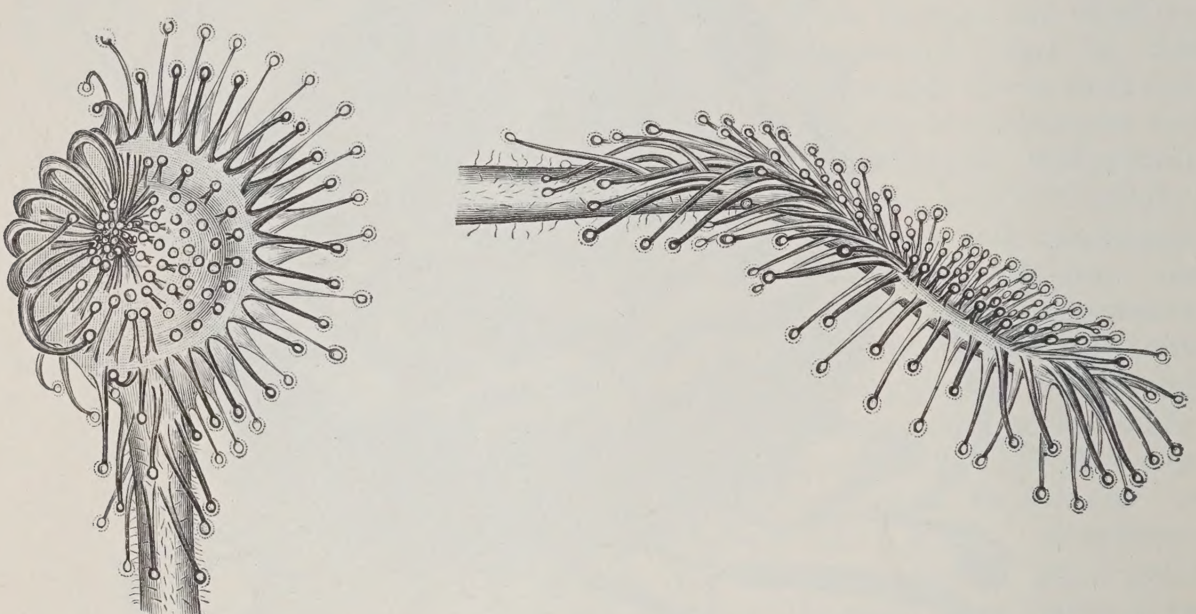


Fig. 204. Blätter von Drosera rotundifolia, links von oben, rechts von der Seite gesehen. Vergr. (Nach DARWIN.)

Nahrung möglich wäre. Es ist wohl kein Zufall, daß die tierfangenden (carnivoren) Pflanzen (gewöhnlich insektenfangende, auch Insectivoren genannt) meist Bewohner sehr feuchter Standorte, des Wassers und der Sümpfe oder Bewohner feuchter Tropenwälder oder auch Epiphyten (nicht schmarotzende Baumbewohner) sind, denen die stickstoff- und phosphorhaltigen Bodensalze nicht in dem Maße zufließen, wie stark transpirierenden Landpflanzen. Besonders deutlich wird dieser Umstand bei Betrachtung unserer einheimischen Sonnentaupflänzchen (der Drosera-Arten), welche zum Teil anfangs der Wurzeln überhaupt entbehrend, später mit wenigen dünnen Würzelchen den mächtigen, schwammartig durchnetzten Torfmoosrasen lose aufsitzen. Hier muß die Fleischnahrung ein willkommener Beitrag zur Stickstoffernährung sein.

Für den Tierfang bestehen bei den carnivoren Pflanzen die mannigfaltigsten Einrichtungen. Auf den Blättern der Drosera stehen wie Schneckenfühler gestaltete, stielartige Auswüchse, deren Drüsenköpfchen ein klebriges, saures Sekret absondern (Fig. 204, auch 119). Kleinere Insekten, aber auch größere Fliegen und Schmetterlinge, die mit diesen Drüsenköpfchen in Berührung kommen, bleiben daran hängen, geraten bei ihren Befreiungsversuchen mit noch mehr Drüsen in Berührung und werden dadurch um so fester gehalten. Durch den Berührungsreiz veranlaßt, krümmen sich dann sämtliche Stielchen („Tentakeln“) nach dem Opfer hin, wobei die Blattfläche selbst hohl wird und das Insekt umfaßt. Das Sekret wird nun reichlicher ausgeschieden, sein Gehalt an Säuren wird gesteigert und es tritt außerdem ein peptonisierendes Ferment hinzu.

Das gefangene Tier wird in kurzer Zeit vom Sekret ganz überzogen und eingehüllt; es erstickt und wird dann langsam verdaut. Die gelösten Fleischteile werden darauf von den Blattzellen samt dem Sekret resorbiert.

Bei der ebenfalls in Deutschland heimischen Pinguicula legt sich der Blattrand um das kleine Tier, welches an den winzigen Hautdrüsen hängen bleibt. — Die gleichfalls bei uns in stehenden Gewässern vorkommenden Utriculariaarten tragen an den fein zerschlitzten Blättern (Fig. 46) grüne Blasen (umgewandelte Blattzipfel), die eine kleine viereckige Öffnung besitzen. Diese ist mit einer elastischen, nur nach innen sich öffnenden Klappe verschlossen, gestattet kleinen Schneckchen und Krebschen, die durch besondere Auswüchse nach der Öffnung hin geleitet werden, leicht den Eingang in die Blase, verwehrt ihnen aber den Austritt, so daß man oft zehn und zwölf Tiere darin gefangen findet. Haare, die von der inneren Blasenwand kreuzweise aus gemeinsamer Basis entspringen, scheinen die Resorption der absterbenden tierischen Körper zu besorgen.

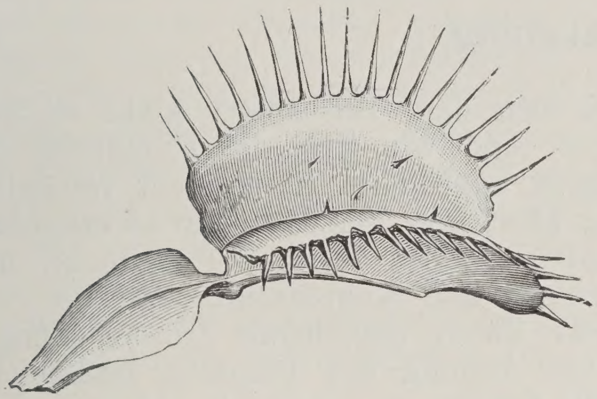


Fig. 205. Ein Blatt der Venusfliegenfalle (Dionaea muscipula). Auf der inneren Blattfläche die empfindlichen Borsten, deren Berührung ein plötzliches Zusammenklappen der beiden Blatthälften bewirkt. Der schraffierte Teil der Innenfläche dicht mit Verdauungsdrüsen besetzt. (Nach Darwin.) Vergrößert.

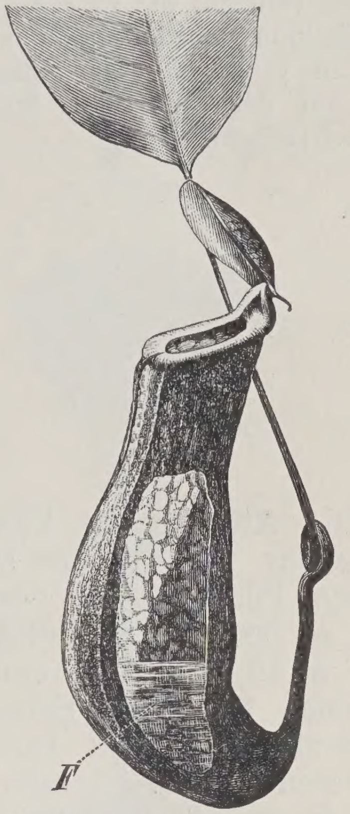


Fig. 206. Blatt-Kanne einer Nepenthes. Am Grunde der Kanne, aus welcher ein Stück herausgeschnitten gedacht ist, steht die von den Blattdrüsen ausgeschiedene Flüssigkeit F, in welcher hineingefallene Tiere verdaut werden. Verkleinert.

Stattlicher und leistungsfähiger sind die Fangeinrichtungen ausländischer Carnivoren. Geradezu überraschend ist die Schnelligkeit, mit welcher die Venusfliegenfalle (Dionaea), auf den Torfmooren Carolinas, ihre hohlen gezähnten Blatthälften zusammenklappt und das Insekt, das sich darauf gewagt, so gefangen nimmt. Fig. 205 stellt ein Blatt dieser Dionaea in offenem Zustand, zum Fange bereit, vor. Das Zuklappen erfolgt äußerst schnell, sobald eine der drei beweglich eingelenkten Borsten berührt wird, welche jeder Blatthälfte aufsitzen. (Die Blattflächen selbst sind viel weniger empfindlich.) Ist das Insekt im geschlossenen Blatte endlich getötet, wobei sich die zarten Blattflächen dicht demselben anschmiegen, dann beginnt auch hier eine reichliche Ausscheidung verdauender Säfte durch Drüsenhaare, die auf der inneren (in der Figur schraffierten) Blattfläche stehen; später erfolgt die Resorption der gelösten Produkte. Bei den ausländischen Insectivoren tritt vorherrschend die Kannenform als Tierfalle auf, so bei Nepenthes, Cephalotus, Sarracenia, Darlingtonia. Die Kannen entstehen, indem ganze Blätter oder Teile derselben sich zu krugartigen Behältern ausbilden (vgl. Fig. 45 und 206). Unten in solchen Kannen steht eine von Drüsen der inneren Wand ausgeschiedene wässerige Flüssigkeit. Tiere, welche bei Nepenthes durch Honigabscheidungen am Rande der Kanne angelockt werden und denselben betreten, gleiten bei der außerordentlichen Glätte der Wand aus oder werden auch durch kleine Haare, die alle nach innen

gerichtet sind, in die Kannen hineingeleitet und fallen alsdann in die Flüssigkeit, wo sie durch Fermente und Säuren rasch verdaut, dann resorbiert werden. Wenn sich nach Clautriau in Nepenthes-Kannen trotzdem zuweilen lebende Schnakenlarven finden, so können diese, wie auch Darmparasiten, wohl nur auf Grund schützender Antifermente (S. 179) hier existieren. — Bei Sarracenia und Cephalotus hat Göbel keine verdauenden Fermente, bei Cephalotus aber fäulnishemmende Sekrete nachweisen können. — Die deckelartige Überwölbung der Kannenöffnung, wie sie sowohl bei Nepenthes als auch bei Sarracenia und Cephalotus sich findet, klappt nicht zu, ihre Aufgabe scheint vielmehr die zu sein, das Einfallen von Aststückchen u. dergl., die die Säureausscheidung umsonst anregen würden, vor allem auch von Regenwasser, in den Kannensaft zu verhüten. Der Eingang zu den Blattschläuchen der Darlingtonia befindet sich auf der Unterseite ihres helmartig übergebogenen Endes und macht einen Deckel entbehrlich (55).

III.

Die Atmung.

Die Atmung der Pflanzen bietet sich dem Beobachter nicht so auffällig dar wie die der höheren Tiere, und wie sich die Ernährung der grünen Pflanzen nur durch das eigens angestellte Experiment feststellen ließ, so bedurfte es gleichfalls richtig überlegter Versuche, um zu erkennen, daß auch die Pflanzen atmen müssen, um leben zu können, daß sie ganz wie Tiere Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure abgeben, was Saussure 1822 und Dutrochet 1837 durch eingehende Untersuchungen bewiesen haben. Liebig erklärte die Atmung der Pflanzen freilich für widersinnig, da man ja wisse, daß die Pflanze umgekehrt Kohlensäure zersetze und Sauerstoff abscheide; er hielt es für ein Unding, daß beide Vorgänge in der Pflanze nebeneinander herlaufen könnten — und doch ist es so. Assimilation und Atmung sind zwei Lebensprozesse, die ganz unabhängig voneinander in der Pflanze bestehen. Während nur die **grünen** Pflanzenteile und nur im Licht bei der Assimilation Kohlensäure zerlegen und Sauerstoff ausscheiden, atmen **alle** Pflanzenorgane ohne Ausnahme Tag und Nacht Sauerstoff ein und Kohlensäure aus. Wird bei der Assimilation organische Substanz gewonnen, so geht umgekehrt bei der Atmung solche verloren. Eine Keimpflanze veratmet im Dunkeln einen großen Teil ihrer organischen Substanz und verliert dabei beträchtlich an Trockengewicht. Ein Maiskeimling, der sich aus einem 0,5 g schweren Maiskorn entwickelt, veratmet im Dunkeln in etwa drei Wochen die volle Hälfte seiner organischen Reservestoffe. Wenn grüne Pflanzen im Licht einen bedeutenden Überschuß organischer Substanz gewinnen, so verdanken sie diesen ausschließlich dem Umstand, daß die zeitweilige Produktion durch die Assimilationstätigkeit der Chlorophyllkörper die Verluste durch die ständige Atmung aller Organe weitaus übertrifft. So genügt nach Boussingaults Schätzungen beim Lorbeer 1 Stunde Assimilation, um das Material für 30 Stunden Atmung zu beschaffen. Die Pflanzen produzieren in 24 Stunden durchschnittlich das 5—10fache ihres eigenen Volumens an Kohlensäure. Bei Schattenpflanzen ist die Produktion nach Griffon (56) meist auf das 2fache Volumen beschränkt; die bekannte Zimmerpflanze Aspidistra bringt es aber nur auf

die Hälfte ihres Eigenvolumens und kann sich eben deshalb auch mit der geringen Assimilation in sehr gedämpftem Lichte begnügen.

Einen Anhaltspunkt über die Bedeutung der Atmung auch im Pflanzenreich gibt uns das Verhalten der Pflanzen, wenn ihnen der Sauerstoff vorenthalten wird, entweder so, daß sie z. B. in reinen Stickstoff oder Wasserstoff, oder aber in einen luftleeren Raum gebracht werden. Da kommt nämlich alsbald jede sichtbare Lebenstätigkeit zum Stillstand. Bei einer vorher kräftig wachsenden Pflanze erlischt das Wachstum, die Plasmaströmung in den Zellen hört auf, wie auch alle äußeren Bewegungserscheinungen bei Aërobionten (s. S. 195). Wenn dann nach nicht zu langer Zeit Sauerstoff wieder zugelassen wird, so kehren die unterbrochenen Lebensäußerungen zurück. Ein längeres Verweilen in sauerstofffreier Umgebung vernichtet jedoch die Lebenstätigkeit unwiederbringlich, da in jenem Starrezustand sich doch innere chemische Prozesse abspielen, welche bei längerem Sauerstoffabschluß zur Vergiftung und zur Zersetzung der lebendigen Substanz führen. Der Eintritt des Sauerstoffs in den Chemismus der Zelle ist also notwendig, um die lebendige Substanz im Zustande normaler Tätigkeit zu erhalten und Umsetzungen zu verhüten, welche die Lebenstätigkeit zerstören.

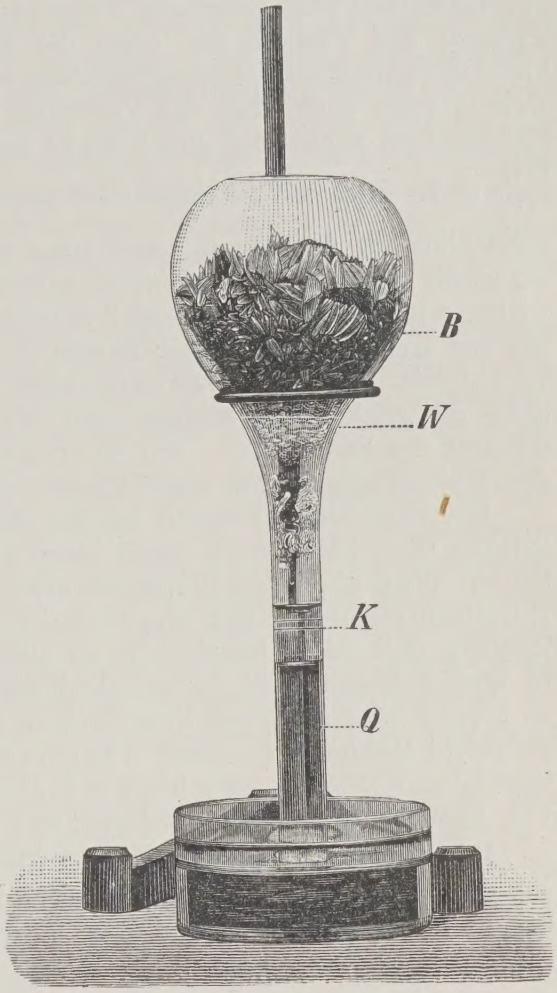


Fig. 207. Atmungsversuch. Der bauchige Teil des Glaskolbens *B* ist mit Wucherblumen (Chrysanthemum) gefüllt. Die von diesen durch Atmung erzeugte Kohlensäure wird von der Kalilauge *K* absorbiert und die Absorption angezeigt durch das Eindringen und Steigen des Quecksilbers *Q* in die Röhre.

Der Sauerstoffverbrauch und die Erzeugung von Kohlensäure durch lebende Pflanzen kann schon durch sehr einfache Versuche qualitativ und quantitativ festgestellt werden. Nach dem, was über die entgegengesetzten Ausgangs- und Endprodukte bei der Assimilation und der Atmung gesagt ist, wird man den Stoffwechsel der Atmung nicht an gleichzeitig assimilierenden Pflanzenteilen unmittelbar wahrnehmen können; man wird zu nichtgrünen Pflanzenteilen greifen oder grüne im Dunkeln beobachten müssen. Je reicher dieselben an Protoplasma sind und je energischer ihre Lebenstätigkeit ist, um so kräftiger atmen sie auch. — Noch ist aber zu bemerken, daß wir bei den anzuführenden Versuchen nicht das volle Endprodukt der Atmung zu sehen bekommen, sondern davon nur die Kohlensäure nachweisen. Wie theoretische Erwägungen und genaue quantitative Bestimmungen der bei der Atmung entstehenden Trockensubstanzverluste auf das Bestimmteste ergeben, wird nämlich bei der Atmung neben Kohlensäure aus der organischen Substanz auch noch Wasser gebildet.

Den Verbrauch des Sauerstoffs unter Bildung von Kohlensäure läßt der obenstehende einfache Versuch (Fig. 207) klar hervortreten. In der bauchigen Erweiterung eines umgestülpten Glaskolbens werden einige junge Hutpilze oder Kompositenblüten (*B*) durch einen feuchten Wattepfropf (*W*) festgehalten. Die Halsöffnung des Kolbens, welcher gewöhnliche Luft enthält, taucht in ein offenes Gefäß mit Quecksilber (*Q*) ein, wodurch die Luft in dem

Kolben abgeschlossen ist. Durch das Quecksilber hindurch werden dann einige Kubikcentimeter Kalilauge (*K*) oder einige Stückchen feuchten Ätzkalis in den Hals eingeführt. In dem Maße wie die Pflanzenteile den Sauerstoff im Kolben verbrauchen und Kohlensäure ausatmen, wird diese durch die Kalilauge absorbiert und das hat zur Folge, daß das Luftvolumen sich verkleinert und das Quecksilber in dem Hals emporsteigt. Nach einiger Zeit hört das Steigen des Quecksilbers auf, und es bleibt auf seinem höchsten Stande unverändert stehen. Berechnet man das zurückgebliebene Luftvolumen im Kolben auf normale Dichtigkeit, so ergibt sich, daß ein Fünftel des ursprünglichen Volums verschwunden ist; das heißt aber nichts anderes, als daß der ganze Sauerstoff (der ein Fünftel der atmosphärischen Luft ausmacht) verbraucht worden ist. Stellt man mit dem gleichen Apparat den Versuch an, ohne die Kohlensäure durch Ätzkali zu absorbieren, dann bleibt der anfängliche Quecksilberstand nahezu unverändert, das Luftvolumen also konstant. Daraus folgt aber, daß die Volumina des verbrauchten Sauerstoffs und der gebildeten Kohlensäure annähernd gleich sind; man drückt dies auch kurz durch die Formel aus: $\frac{C\,O_2}{O_2} = 1$. Dieses Verhältnis trifft jedoch nur in den Fällen zu, wo der Sauerstoff ausschließlich für die Atmung und zwar zur vollständigen Verbrennung von Kohlehydraten verwandt wird, wo er also nicht außerdem bei der Umwandlung von Inhaltskörpern mitwirkt, wie bei der Keimung fettreicher Samen und beim Gaswechsel der Succulenten. Bei der Keimung fettreicher Samen wird das Fett in sauerstoffreichere Kohlenhydrate verwandelt. Bei den Succulenten dagegen greift die ihnen vorwiegend eigentümliche nächtliche Säurebildung und die im Licht erfolgende Entsäuerung in den Gaswechsel der Pflanze ein. Der Atmungskoëffizient kann übrigens mit der Ernährung und den Kulturbedingungen einer Pflanze in gewissen Grenzen schwanken.

Der Sauerstoffverbrauch bei der Atmung kann auch gezeigt werden durch das Verlöschen einer Flamme in einem kleinen Raume, in welchem Pflanzen längere Zeit verweilt haben: Wird ein hohes Standglas etwa zu einem Drittel oder zur Hälfte mit Blüten oder Hutpilzen angefüllt, der eingeriebene Glaspfropf fest aufgesetzt und der Apparat eine Zeitlang sich selbst überlassen, so bleibt die schwere Kohlensäure im Cylinder und eine in diesen eingesenkte brennende Kerze zeigt durch ihr sofortiges Erlöschen an, daß es ihr an Sauerstoff zur Unterhaltung der Verbrennung gebricht. Die bei der Atmung gebildete Kohlensäure kann quantitativ durch die Gewichtszunahme der sie absorbierenden Kalilauge oder bei der Einleitung in Barytwasser mit Hilfe des Niederschlags von kohlensaurem Baryt nachgewiesen werden.

Die intramolekulare Atmung (57). Um die Mitte der siebziger Jahre machte PFLÜGER die überraschende Entdeckung, daß Frösche in sauerstoffloser Luft keineswegs sofort ersticken, sondern eine Zeitlang weiterleben und dabei sogar beständig Kohlensäure ausscheiden. Man fand daraufhin, daß auch Pflanzen bei Mangel an freiem Sauerstoff befähigt sind, noch Kohlensäure auszuatmen und ihr Leben dabei einige Zeit zu fristen. Unter diesen Bedingungen müssen natürlich beide Elemente, sowohl der Kohlenstoff wie der Sauerstoff, aus der organischen Substanz der Pflanze selbst stammen; der Sauerstoff kann aber nur durch ungewöhnliche Umsetzungen innerhalb derselben verfügbar werden. Deshalb hat man diese besondere Art der Atmung als intramolekulare Atmung bezeichnet.

Die in einem bestimmten Zeitraum durch intramolekulare Atmung erzeugte Kohlensäuremenge ist, wie leicht erklärlich, meist geringer als die bei Gegenwart freien Sauerstoffs entstehende; man kennt aber auch Pflanzen (z. B. die Feldbohne, Vicia Faba), deren Keimlinge in reiner Wasserstoffatmosphäre stundenlang ebensoviel Kohlensäure ausatmen wie in sauerstoffhaltiger Luft. Wie oben erwähnt, hören Wachstum und Bewegungen der Aërobionten mit verschwindenden Ausnahmen (Keimlinge) aber bei intramolekularem Atmen auf und es treten fremdartige Zersetzungen ein, wobei u. a., wie bei der Hefegärung, neben Kohlensäure die entsprechende Menge Alkohol entsteht.

Sobald der Zutritt des freien Sauerstoffs zu dem Protoplasma fehlt, setzt sofort die intramolekulare Atmung ein und hält so lange an, bis eine Anhäufung ihrer schädlichen

Umsetzungsprodukte das Plasma schließlich abtötet. Eine vorherige Zufuhr freien Sauerstoffs kann aber, wie erwähnt, durch Wiederherstellung der normalen Atmung und Zerstörung der abnorm entstandenen Spaltungsprodukte die Zellen ihrer normalen Lebenstätigkeit alsbald wieder zuführen.

Der Mangel an freiem Sauerstoff wird von einzelnen Pflanzen nur kurze Zeit und schlecht, von anderen besser und längere Zeit ertragen. Zumal gewisse niedere Pflanzen (Bakterien, Pilze, Characeen) vermögen längere Zeit ohne freien Sauerstoff auszukommen oder sind gar in den Stand gesetzt, unter günstigen Umständen in der intramolekularen Atmung einen völlig ausreichenden Ersatz für die normale Sauerstoffatmung zu finden. Diese Fähigkeit und Ausrüstung zum Leben in sehr sauerstoffarmer oder -freier Umgebung ist bei einzelnen Bakterienarten so einseitig ausgebildet, daß diese geradezu keinen, bezw. nur Spuren freien Sauerstoffs mehr nötig haben oder letzteren überhaupt nicht mehr vertragen können. Zur Unterscheidung von den Lebewesen, die bei ausreichender Atmung auf freien Sauerstoff angewiesen sind, den sogen. Aërobionten (Aëroben), hat man diese abweichend ausgerüsteten Lebewesen als Anaërobionten (Anaëroben) bezeichnet. Die erwähnten Abstufungen werden dabei als temporäre bezw. fakultative und permanente bezw. obligate Anaërobiose unterschieden.

Die Atmung als Energiequelle. Da lebendiges Plasma unter allen Umständen atmet, da weiterhin bei gehinderter Atmung die Lebensäußerungen aufhören, während eine erhöhte Lebenstätigkeit mit erhöhten Ansprüchen an die Atmung verknüpft ist, so stellt sich der Stoffwechsel derselben als eine für das Leben notwendige Begleiterscheinung dar.

Das Gemeinsame der Atmungsvorgänge besteht in Umsetzungen, bei denen chemische Spannkraft entbunden und Energie befreit wird. Man geht deshalb wohl kaum fehl in der allgemein gemachten Annahme, daß die bei der Atmung gewonnene Energie zum Betriebe und zur Unterhaltung der Lebensäußerungen dient. Es wird durch die Athmung also spezifische Lebensenergie gewonnen — man könnte sagen Lebenskraft, wenn dieses Wort nicht schon in einem anderen Sinne vergeben wäre, — welche durch keine anderen Kraftquellen (wie sie in den Druckkräften des Turgors, in Licht- und Wärmeschwingungen u. a. der Pflanze zu Gebote stehen) geliefert wird.

Die meisten, zumal die höheren Pflanzen, opfern, um diese Betriebskraft zu erlangen, einen Teil ihrer organischen Substanz, und zwar vorwiegend Kohlehydrate, der physiologischen Verbrennung. Diese Verbrennung ist dabei meist so energisch und weitgehend, daß als ihre Produkte CO_2 und H_2O auftreten; damit ist sowohl der größte Energiegewinn erreicht, als auch eine Anhäufung von schädlichen Atmungsprodukten vermieden. Doch kann der Atemprozeß auch anders verlaufen, indem nicht sowohl die Endprodukte CO_2 und H_2O, sondern erhebliche Mengen organischer Säuren entstehen. Es geht hierbei Kohlenstoff nicht sofort an die Atmosphäre verloren, ein Umstand, von dem die unter schwerfälligem Gaswechsel und sonstigen ungünstigen Assimilationsbedingungen leidenden Succulenten profitieren.

Die bei der Veratmung organischer Kohlenstoffverbindungen entbundenen Kräfte leiten sich von jenem Kraftvorrat ab, welcher bei der Assimilation mit Hilfe der Sonnenstrahlen in Gestalt chemischer Spannkraft in Kohlehydraten gespeichert wurde (vgl. S. 173). Spannkräfte werden aber nicht nur bei teilweiser oder gänzlicher Verbrennung von organischen Kohlenstoffverbindungen entbunden, sondern können auch aus anderen chemischen Vorgängen befreit und gewonnen werden. Während die meisten Pflanzen organische Substanz veratmen, haben sich niedere Pflanzen und zumal wieder Bakterien, auch Energiequellen in anderen Umsetzungen geschaffen. So oxydieren die meisten Schwefelbakterien den Schwefelwasserstoff zu Schwefel und diesen zu Schwefelsäure, andere oxydieren nach Nathansohn Thiosulfate; die Nitritbakterien bilden aus Ammoniak und Amiden salpetrige Säure, die Nitratbakterien hieraus Salpetersäure, während die Eisenbakterien Eisenoxydulverbindungen zu -Oxyd verbrennen. Die in solchen Vorgängen gewonnene Energie kann zum Atmungsbetrieb, oder auch, wie es bereits von den Nitrobakterien (S. 174) erwähnt wurde, zur Synthese von organischen Kohlenstoffverbindungen benutzt werden, je nach der Lenkung der gewonnenen Arbeitskraft auf den einen oder anderen Prozeß des inneren Lebensbetriebes im Organismus. Auch in unseren Fabriken hängt es ja lediglich von der maßgebenden Ein-

richtung ab, ob die irgendwie erworbene elektrische Energie zum Treiben von Maschinen, zur Lichterzeugung oder zu chemischen Umsetzungen verwandt wird (58).

Gärung und Atmung. In dem Abschnitt über besondere Ernährungsweisen wurde bereits erwähnt, daß zumal bei der Ernährung aus organischer Materie neben den für die Gewinnung der Körpersubstanz unmittelbar notwendigen stofflichen Umsetzungen häufig ausgedehnte Zersetzungen des ganzen Substrats, sogen. Gärungen, einhergehen. Insofern diese Zersetzungstätigkeit mit Befreiung von Energie verknüpft ist, welche allgemein in organischen Substanzen gespeichert ist, kann sie ebenfalls der Atmung dienstbar gemacht und durch das Atmungsbedürfnis mehr oder weniger beeinflußt werden.

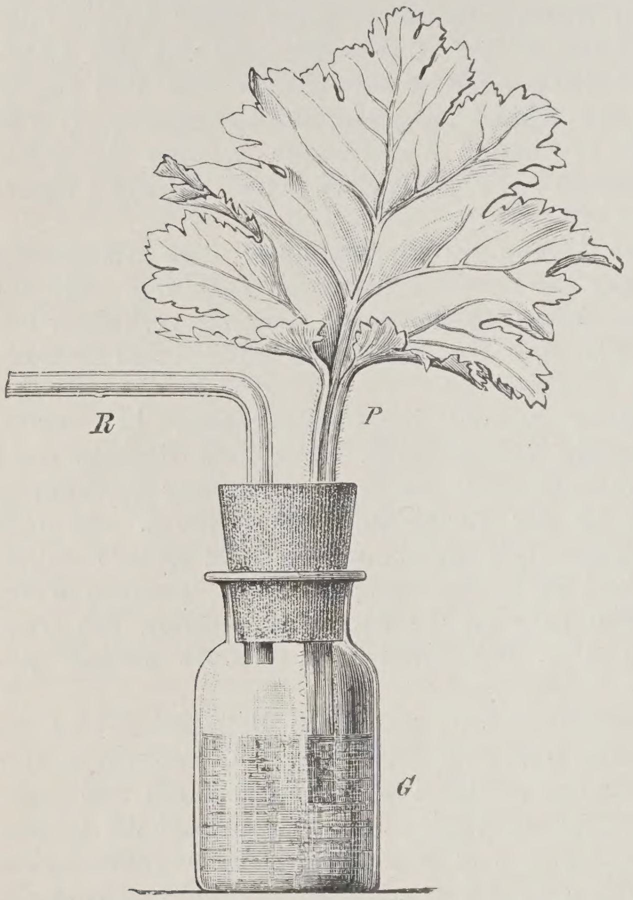


Fig. 208. Apparat zum Nachweis der offenen Gaswege in der Pflanze. Wird die Luft im Glase durch Saugung an *R* verdünnt, dann dringt äußere Luft durch die Spaltöffnungen in die Intercellularen des Blattes und tritt in kleinen Luftblasen aus der untergetauchten Schnittfläche des Blattstiels in das Glas ein. Aus DETMER, Physiol. Prakt.

So wird bei anaërobem Gedeihen der Hefe bei weitem der größte Teil des Substrates (ca. 98—99 %) vergoren, während bei aërobem Wachstum unter vollem Sauerstoffzutritt der auf Wachstum und Vermehrung entfallende Anteil am Substanzverbrauch verhältnismäßig größer sein kann.

Aus dem Umstande, daß aber auch bei ausreichendem Sauerstoffzutritt große Mengen des Traubenzuckers (nach BUCHNER und RAPP etwa 85 %) vergoren werden, darf man wohl schließen, daß die dem Energiegewinn des Organismus unter Umständen dienstbar gemachten Gärungsprozesse in einer gewissen Unabhängigkeit von dem Atembedürfnis verlaufen können. Auch für die Sauerstoffatmung ergibt sich eine gewisse Selbständigkeit gegenüber den anderen Lebensäußerungen daraus, daß die Atmung ihren höchsten Umsatz erreicht bei einer Temperatur, in der sonst jede normale Lebenstätigkeit längst durch Wärmestarre lahmgelegt ist, kurz vor dem eintretenden Tode. — Ähnlich wie das Arbeiten einer Dampfmaschine von der Energiezufuhr aus der Kohlenfeuerung zwar ermöglicht werden muß, aber auch trotz fortgesetzter oder gesteigerter Feuerung stille zu stehen vermag, so ist das Lebensgetriebe der Zelle zwar auch auf einen kraftentbindenden Stoffwechsel angewiesen, die übrigen Lebensäußerungen stehen aber damit nicht in derartig unmittelbarem Zusammenhang, daß sie mit der Intensität der energiespendenden Stoffwechselprozesse unter allen Umständen gleichen Schritt zu halten brauchten.

Wärmeentwicklung beim Atmen. Die Atemprozesse sind chemisch-physikalisch betrachtet meist Oxydationen oder Verbrennungen und gleich diesen mehr oder weniger mit Wärmeentwicklung verknüpft. Daß sich die Pflanzen durch die Atmung aber nicht fühlbar erwärmen, rührt daher, daß letztere gegenüber der wasserreichen Masse meist nicht ausgiebig genug ist und daß weiterhin die Transpiration der großen ausstrahlenden Flächen erhebliche Wärmemengen latent macht, wodurch transpirierende Pflanzen meist sogar kühler als ihre Umgebung sind und aus dieser noch Wärme aufnehmen.

Werden Transpiration und Wärmestrahlung verhindert und werden zur Untersuchung lebhaft atmende Pflanzen ausgewählt, dann läßt sich in der Tat die Erwärmung nachweisen. Zusammengehäufte keimende Samen (Erbsen) zeigen dann unter günstigen Umständen eine Selbsterwärmung um 2° C. Die stärkste Erwärmung von Pflanzen ist an den blühenden Kolben von Araceen beobachtet worden, welche ihre Temperatur um 10, 15, ja sogar um 20° C. durch intensive Atmung erhöhen. Ein Gramm der Kolbensubstanz jener Araceen liefert dabei in einer Stunde bis zu 30 Cubikcentimeter CO_2 und in wenigen Stunden kann bei so intensiver Atmung die Hälfte der Trockensubstanz (der Vorrat an Zucker und Stärke) veratmet werden. Auch bei den großen Blüten der Victoria regia sind 15° C. Temperaturerhöhung gemessen worden. Beim Heilprozeß verwundeter Pflanzen wird die Atmung und damit auch die Erwärmung merklich gesteigert; das Gegenteil wird bei Hungerzuständen beobachtet.

Daß *neben der Kohlensäureatmung* aber auch noch andere Prozesse in die Wärmeentwicklung eingreifen, geht daraus hervor, daß letztere nicht proportional mit der erzeugten Kohlensäure steigt und fällt.

Fig. 209. Atemwurzeln von Avicennia, einem Mangrovebaum. 1/2 nat. Gr. Aus SCHIMPER, Pflanzengeographie.

Wege der Atemluft. Während sich bei einfacher gebauten Pflanzen der im Dienste der Atmung stehende Stoffaustausch diffusorisch durch die ganze Oberfläche vollzieht, ist er bei den höher organisierten Pflanzen, wie auch der Stoffaustausch bei der Transpiration und der Assimilation in der Hauptsache auf die Spaltöffnungen beschränkt. Das früher (S. 164 und 177) über die Ergiebigkeit dieses Austausches Gesagte gilt in gleicher Weise auch für den respiratorischen Austausch, der bei geöffneten Spalten in ausgiebiger Weise ermöglicht ist. Im Inneren des Pflanzenkörpers erfolgt die Weiterverbreitung teils durch die Zellen hindurch, vor allem aber wohl durch die Intercellularräume, die mittels der Spaltöffnungen (oder bei verkorkten Pflanzenteilen mittels der Lenticellen) (S. 122) einerseits mit der freien Atmosphäre in Verbindung stehen, andererseits auch die tief im Innern massiger Pflanzenteile gelegenen Zellen mit Atemluft versorgen müssen, während für den Gasaustausch der Assimilation und Transpiration die oberflächlich gelegenen grünen Gewebe fast ausschließlich in Betracht kommen.

Die Bewegung der Gase in den Intercellularräumen geschieht durch Diffusion, wird aber unterstützt durch Massenbewegungen, welche durch Temperatur-, Druck- und Feuchtigkeitswechsel der umgebenden Atmosphäre vornehmlich veranlaßt werden, zu welchen aber auch die durch den Wind verursachten Bewegungen und Beugungen der Pflanzen beitragen.

Der Zusammenhang der Intercellularen unter sich und mit der Außenwelt, auf den aus der anatomischen Untersuchung schon geschlossen werden kann, wird zur Gewißheit durch das physiologische Experiment. Es gelingt nämlich ohne Schwierigkeit, Luft aus den Spaltöffnungen oder den Lenticellen austreten zu lassen, wenn man sie in die Intercellulargänge unter mäßigem Druck einpreßt; es kostet auch umgekehrt nicht viel Mühe, bei mäßiger Saugung aus den freigelegten Intercellularen große Mengen von Luft heraus-

zusaugen, die nur durch die Spaltöffnungen und Lenticellen ihren Weg in die Pflanze gefunden haben kann. Fig. 208 zeigt einen kleinen, zu solchen Versuchen dienlichen Apparat.

In hervorragendem Maße entwickelt sind luftführende Intercellularräume bei Wasserpflanzen und Sumpfgewächsen; sie nehmen oft den größten Raum der dadurch schwimmfähig werdenden Organe ein. Die ganz untergetauchten, spaltöffnungslosen Wasserpflanzen verschaffen sich auf diese Weise eine Binnenatmosphäre, mit welcher ihre Zellen einen lebhaften Gaswechsel unterhalten können. Die Binnenatmosphäre steht durch Diffusionsvorgänge aber auch mit der Umgebung in langsamem Austausch. Bei Sumpf- und Ufergewächsen, die sich teilweise in die freie Luft erheben, bilden die geräumigen Intercellulargänge Verbindungskanäle, durch welche atmosphärischer Sauerstoff leicht, und ohne unterwegs erschöpft zu werden, auch zu solchen Organen gelangen kann, die, tief im Schlamme steckend, von Sumpfgasen umgeben und von jeglicher äußeren Sauerstoffzufuhr sonst abgeschnitten sind. Das Atembedürfnis der Wurzeln wird in besonderen Fällen durch die aus dem sauerstoffarmen Boden aufsteigenden Atemwurzeln (Pneumatophoren) befriedigt (Fig. 209).

Leuchten. Unter denselben Bedingungen, welche die Atmung unterhalten, tritt bei einer beschränkten Zahl von Pflanzen, zumal bei Pilzen und Bakterien, ein phosphorartiges Leuchten auf. Diese Phosphorescenz verschwindet in sauerstofffreier Umgebung, stellt sich aber wieder ein, wenn freier Sauerstoff zutritt. Alle Umstände, welche die Atmung fördern, verstärken das Leuchten und umgekehrt. Nach den Untersuchungen, die man über das Leuchten der Tiere angestellt hat, von welchem das der Pflanzen wohl nicht prinzipiell verschieden sein dürfte, steht das Leuchten jedoch nicht unmittelbar mit den Atmungsvorgängen in Zusammenhang.

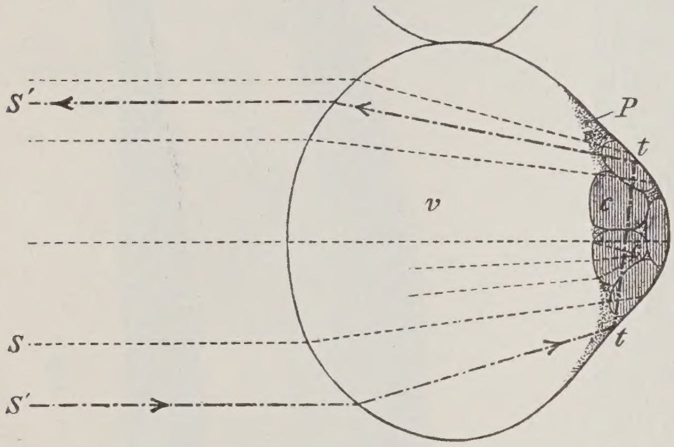


Fig. 210. Leuchtende Protonemazelle von Schistostega. *S' S'* ein an der Hinterwand total reflektierter, nach seinem Durchgang durch den Chlorophyllapparat nach vorn wieder grün austretender Strahl (vergl. Fig. 168).

Die bekanntesten, mit weißem, blauem oder grünem Lichte phosphoreszierenden Pflanzen sind einerseits gewisse Bakterien, welche zumal in Meeren sehr verbreitet sind, sodann das früher als „Rhizomorpha“ beschriebene Mycelium der Armillaria mellea (Agaricus melleus), eines baumtötenden Hutpilzes, sowie der in Südeuropa unter Ölbäumen wachsende Ag. olearius, Polyporus sulfureus, Xylaria hypoxylon und noch vereinzelte ausländische Hutpilze (Ag. igneus, Ag. noctilucens, Ag. Gardneri u. a.). Das Leuchten modernden Holzes ist jedenfalls auf darin wuchernde Pilze oder Bakterien zurückzuführen. Auf leuchtenden Fischen und leuchtendem Fleisch finden sich Überzüge unschädlicher leuchtender Bakterien. Mikrococcus phosphoreus kommt nach Molisch allgemein auf Schlachtfleisch nach Benetzen desselben mit 3 % Kochsalzlösung bei niederer Temperatur zur Entwicklung. — Am Leuchten des Meeres nehmen, neben zahlreichen Tieren, von Pflanzen besonders die Gymnodiniacee Pyrocystis noctiluca, gewisse Peridineen, sowie andere Mikroorganismen hervorragenden Anteil. Ihr Aufleuchten wird, nach Untersuchungen von Reinke an Ceratium tripos sowohl von mechanischen als von thermischen und chemischen Reizen veranlaßt (59).

Das Leuchten des Leuchtmooses Schistostega, der Flagellate Chromophyton Rosanoffii, einiger Selaginellen und Farne hat mit jenem Phosphoreszieren nichts gemein, indem es lediglich auf dem Reflexschein des Tageslichtes in eigenartig geformten Zellen (vgl. Fig. 210) beruht. Das sogenannte Leuchten einzelner Meeresalgen besteht dagegen im Fluoreszieren und Opalisieren eiweißartiger Inhaltskörper oder im Irisieren von Cuticularschichten (60).

IV.

Das Wachstum.

Die Größe, welche Pflanzen erreichen, ist außerordentlich verschieden. Gewaltig ist schon der Größenunterschied zwischen einem nur bei stärksten Vergrößerungen sichtbar zu machenden Mikrococcus und einem großen Hutpilz; und wie klein ist letzterer wieder neben der wolkenanstrebenden Sequoia Californiens. Ein Bacillus von der Größe eines Hutpilzes, ein Schimmelpilz von der Höhe einer Sequoia wären aber bei ihrer gegebenen Organisation physiologisch ebenso undenkbar wie etwa ein Hutpilz von der Größe eines Mikrococcus. In der Größe eines Organismus liegt demnach eine Eigenschaft vor, die mit seinem Bau und seiner Lebensweise in engster Beziehung steht und die man deshalb bei Individuen derselben Art nur innerhalb gewisser Grenzen schwanken sieht.

Wenn nun auch gewisse Pflanzen in ihrer vollkommenen Entwicklung oft erstaunliche Maße annehmen und aus Hunderttausenden und Millionen von Zellen sich zusammensetzen, so beginnen sie doch ihr Dasein als mikroskopisch kleine und höchst einfach gebaute Zellen. Um ihre endgültige Größe und Funktionsfähigkeit zu erreichen, müssen sie wachsen, d. h. ihren Körper vergrößern und ausgestalten. Selbst die winzigen einzelligen Kokken und Bakterien müssen nach ihrer Vermehrung durch Zweiteilung immer wieder auf die Dimensionen der Mutterzelle heranwachsen, falls sie nicht in wenigen Generationen durch zunehmende Kleinheit die Existenzfähigkeit einbüßen sollen. Es gibt also keine fertig entwickelte Pflanze, die nicht zuvor hätte wachsen müssen. — Vergleicht man im Geiste aber eine erwachsene Eiche oder Zeder mit jener einfachen Eizelle, aus der sie wachsend entstand, dann wird es erst recht klar, daß mit dem Worte Wachstum nicht nur ein bloßes Größerwerden gemeint sein kann, sondern daß eine Reihe der mannigfaltigsten Entwicklungen, äußerer und innerer Veränderungen, darin inbegriffen ist. In solchen, durch die Lebenstätigkeit geschaffenen, daher bleibenden oder doch nur durch Lebenstätigkeit wieder ausgleichbaren Veränderungen haben wir den Ausdruck des Wachstums zu suchen. Eine Volumzunahme allein setzt noch kein Wachstum voraus, denn wenn eine ausgetrocknete verschrumpfte Rübe im Wasser anschwillt, so wird man nicht sagen, die Rübe wächst. Ergiebiges Wachstum kann sogar bei großen Substanzverlusten stattfinden, wie eine im dunklen Keller austreibende Kartoffel zeigt: Durch Transpiration büßt sie Wasser, durch die Atmung organische Substanz ein, und doch zeigen ihre Triebe ausgiebiges Wachstum.

Bei niederen Organismen äußert sich das Wachstum oft in sehr einfachen Vorgängen. Amöben und Plasmodien wachsen, indem sie ihre Substanz vermehren, Bacillen, einzellige Algen oder Pilze, indem sie außerdem ihre Membranen vergrößern. Bei höheren Pflanzen sind die Wachstumsvorgänge weit verwickelter und mannigfaltiger, so daß man hier nach Sachs etwa 3 Hauptphasen des Wachstums unterscheiden kann, welche indessen nicht scharf voneinander getrennt sind, sondern unmerklich ineinander übergehen. Diese sind:

1. Die embryonale Anlage und Formung.
2. Die Streckung der embryonal geformten Organe.
3. Die innere Ausbildung und Fertigstellung der Gewebe.

Die embryonale Anlage der Organe.

Die höheren Pflanzen erfahren im Gegensatz zu den höheren Tieren einen ständigen Zuwachs von neuen Organen. Diese Neubildungen entstehen entweder aus jenem embryonalen Gewebe, wie es in den Vegetationspunkten erhalten bleibt, oder sie bilden sich an Stellen aus, welche schon mehr oder weniger in ihrer definitiven Ausbildung fortgeschritten sind. Die jüngsten Blätter und Zweige gehen unmittelbar aus dem jugendlichen Gewebe der Vegetationspunkte hervor, nicht so die jungen Wurzeln, welche oft weitab vom Vegetationskegel ihrer Mutterwurzel auftreten, da, wo schon eine deutliche Differenzierung der umgebenden Gewebe stattgefunden hat.

Auch Zweige und Blätter sind bei ihrer Entstehung nicht ausschließlich auf die genannten Herde embryonalen Gewebes angewiesen, sie können auch aus fertigen, älteren Gewebeteilen erstehen, die sich mit Plasma füllen, in Teilung eintreten und so wieder embryonalen Charakter annehmen. Für gewöhnlich entwickeln sie sich aber gleich aus den Vegetationspunkten und man hat deshalb alle Organe, welche an anderen als den gewohnten Stellen entspringen, als bloß beigefügte, „adventive“, bezeichnet.

Die Art der **Organbildung an den Vegetationspunkten** ist bereits im morphologischen Teil dieses Buches behandelt worden. — Der Ort, an welchem die neu entstehenden Organhöcker in akropetaler Reihenfolge sich bilden, und die Anzahl, in welcher dieselben entstehen, sind in erster Linie abhängig von inneren, erblichen Dispositionen. Äußere Einwirkungen sind nur bis zu einem gewissen Grade im stande, in diese Verhältnisse einzugreifen. Der Einfluß äußerer Faktoren, welcher sich zum Teil im späteren Wachstum der Gewebe maßgebend geltend macht, wie der von Licht, Schwerkraft und stofflichen Reizen, kommt für die embryonalen Gestaltungen nur wenig in Betracht. Doch weiß man, daß die erste Teilungswand der keimenden Sporen von Marsilia von der Richtung der Schwerkraft bestimmt wird und daß die Richtung der ersten Wand (wie auch der Kernteilung vorher) in den Sporen von Equisetum, wie in den Eiern von Cystoseira barbata, Pelvetia und Ascophyllum unter den Fucaceen, durch die Lage zur Lichtquelle gegeben ist (61).

Bei den **Adventivbildungen** tritt dagegen der Einfluß äußerer Einwirkungen oft sehr scharf hervor. Als Beispiel dafür sei auf die Kletterwurzeln des Efeus und anderer Wurzelkletterer hingewiesen; diese entstehen nur auf der dunklen beschatteten Seite der Klettersprosse. Bei der Alge Caulerpa bilden sich neue blattartige Organe nur auf der belichteten Seite des Mutterorgans. — Der Einfluß der Schwerkraft ist es andererseits, welcher die Entstehung der Wurzeln auf der Unterseite unterirdischer Rhizome fördert und welcher dahin wirkt, daß Sproßvegetationspunkte nur auf der Oberseite der Knollen von Thladiantha dubia oder daß neue Zweige vorzugsweise auf der Oberseite schräg wachsender Baumäste entspringen. Der Reiz der Berührung bestimmt die Anlage und den Entstehungsort der Haustorien von Cuscuta (S. 183). An Farn-Prothallien werden die Geschlechtsorgane stets auf der vom Lichte abgekehrten Seite angelegt, bei normaler Beleuchtung also unten, bei künstlicher Beleuchtung von unten jedoch auf der Oberseite.

Starke einseitige Beleuchtung sowie der Schwerkraftsreiz und der fördernde Einfluß feuchter Luft bewirken es, daß die Rhizoiden aus der Unterseite der Brutknospen von Marchantien hervorwachsen, und das einseitige

Licht veranlaßt nachträglich eine durchaus verschiedene anatomische Ausbildung ihrer ursprünglich ganz gleich gebauten beiden Seiten.

Manche Adventivbildungen werden durch bestimmte äußere Einwirkungen erst hervorgerufen, wie beispielsweise die Gallen durch tierische Stiche oder die Ausscheidungen tierischer Eier und Larven (vgl. S. 132).

Die Entstehung von Adventivbildungen wird ganz besonders gefördert durch die Verstümmelung von Pflanzen. Es werden dabei Neubildungen an Orten hervorgerufen, an denen bei der unverletzten Pflanze solche niemals entstanden wären. Bei den Pelargonien, beim Oleander, bei der Weide und sehr vielen anderen Pflanzen hat man es in der Hand, an den Sprossen überall da Wurzeln entstehen zu lassen, wo man jene abschneidet. Bei anderen Pflanzen sind es von vornherein bevorzugte Stellen, wie die älteren Knoten, an denen sich unter diesen Umständen Wurzeln entwickeln. Ebenso können auch neue Sprosse angelegt werden, wenn bei der Verstümmelung solche zerstört wurden. Bei den Neubildungen an verstümmelten Pflanzenkörpern zeigt es sich, daß gerade diejenigen Organe neu entstehen oder doch vorzugsweise neu entstehen, die der Pflanze genommen worden sind. Wurzellose Zweige bilden vor allem neue Wurzeln; ihrer Sprosse beraubte Wurzeln und Wurzelstöcke bilden vor allem neue Sprosse aus. Hier tritt also ganz besonders auffällig eine innere Wechselwirkung in dem gestaltenden Wachstum der Organe in die Erscheinung, die man als Wachstumskorrelation bezeichnet.

Auch bei der normalen Organbildung unverletzter Pflanzen spielen Wachstums-Korrelationen eine große Rolle. Diese bedingen es, daß die Knospenhüllblätter in Gestalt von Schuppen und nicht als ausgebildete Laubblätter entwickelt werden, denn es gelang Göbel durch künstliche Eingriffe, wie z. B. durch zeitige Entlaubung des Muttertriebes bei Aesculus, Acer, Syringa, Quercus, oder durch Entgipfelung bei Prunus Padus, an der Stelle der Schuppen die Bildung normaler Laubblätter zu veranlassen. — Wenn nach vollzogener Befruchtung mit der Ausbildung des Embryos sich kräftige Wachstumsvorgänge in der Samenanlage, in der Frucht und den Fruchthüllen vollziehen, so liegt auch hier wieder eine Korrelationserscheinung vor, denn falls die Befruchtung der Eizelle ausbleibt, unterbleiben meist alle jene Veränderungen, welche aus der Blüte eine reife Frucht hervorgehen lassen; es tritt vielmehr eine andere korrelative Wirkung auf, welche zur Abstoßung des ganzen nun nutzlosen Organs führt. Einzelne Pflanzen, zumal solche, welche schon lange in der Kultur des Menschen stehen, können hier freilich eine gewisse Ausnahme machen; bei fast allen Varietäten von Bananen, bei der echten kernlosen Mandarine und den als Sultaninen bezeichneten Rosinen z. B. unterbleibt die Bildung keimfähiger Samen, aber trotzdem entwickeln sich die Fruchthüllen kräftig. Der Anstoß zu dieser Entwicklung muß aber auch hier entweder von der bloßen Bestäubung der Narbe oder doch von der Befruchtung der vorhandenen Samenanlagen ausgehen, welch' letztere dann aber früher oder später verkümmern, ohne der sonstigen Entwicklung der Frucht Eintrag zu tun. Bei samenhaltigen Weinbeeren gehen nach Müller-Thurgau (62) aber auch von der Samenausbildung selbst noch einmal besondere Reizwirkungen auf die Form, Qualität und Quantität des Fruchtfleisches aus. In seltenen Ausnahmefällen entwickeln sich sogen. „taube" Früchte aber auch ganz ohne den Anstoß der Bestäubung (Parthenokarpe Früchte der Feige und Gurke) (63). — Korrelationsvorgänge regeln auch die Ausbildung von Leitbahnen im Pflanzenkörper, greifen also auch in die anatomische Entwicklung ein. — Aus diesen wenigen Hinweisen ist bereits zu ersehen, wie Wachstumskorrelationen auch im normalen Lebensgang der Pflanzen auf die mannigfaltigsten Lebenserscheinungen einwirken und wie von ihnen die harmonische Ausbildung und die Funktionen der einzelnen Glieder des Pflanzenkörpers beherrscht werden.

Als ein besonderer Ausdruck solcher Korrelationen zwischen den lebendigen Teilen des Pflanzenkörpers ist die Polarität derselben zu betrachten, die zumal in Stamm- und Wurzelgliedern stark ausgeprägt ist und dadurch zu sichtbarer Geltung kommt, daß jedes Teilstück eines Stengels scheitelwärts zur Erzeugung neuer Sprosse, grundwärts

aber zur Erzeugung neuer Wurzeln neigt, während Teilstücke von Wurzeln an dem scheitelwärts gerichteten Ende neue Wurzeln, an dem stammwärts gelegenen neue Sprosse bilden.

Auf diese Weise erhält ein abgetrenntes Stengelstück naturgemäß neue Wurzeln an seinem „Wurzelpol“, eine verletzte Wurzel neue Sprosse an ihrem „Sproßpol“. Dieser besonders von Vöchting und Sachs studierte polare Gegensatz, zu welchem nach Göbel auch die gewohnheitsmäßige Richtung des Nahrungsstromes sowie Wundreize beitragen, macht sich in allen Teilstücken von Wurzeln und Stengeln (Stämmen) bemerkbar; er ist insofern mit dem Verhalten magnetischer Polarität vergleichbar, als auch an jedem Teilstück eines Magneten, wo immer es demselben entnommen wird, der Gegensatz von Nordpol und Südpol erhalten bleibt. Ungleichnamige Pole einer Pflanze sind leicht zum Verwachsen zu bringen, gleichnamige verwachsen nicht oder schwieriger, und ihre Verbindung trägt dann dauernd einen kränklichen oder schadhaften Charakter. Bei derartigen Verwachsungsversuchen hat Vöchting auch eine radiale Polarität im Stamm- und Wurzelgewebe erkannt, insofern Stamm- oder Wurzelstücke, die seitlich in Ausschnitte gleicher Organe eingefügt werden, gut einheilen, falls ihre Außenseite nach außen gerichtet ist, während eine Verwachsung mit dem umgebenden Gewebe nicht erfolgt, wenn diese Orientierung geändert wird. — Blätter nehmen in ihrem polaren Verhalten insoweit eine Sonderstellung ein, als sie bei Neubildungen überhaupt nicht organisch in die Neubildungen eingeschaltet werden. An dem basalen Ende eines Blattes entsteht nach der Bewurzelung vielmehr eine völlig neue Pflanze mit Wurzeln, Stengeln und neuen Blättern, während das regenerierende Blatt selbst abstirbt. Von besonderem Interesse ist es die Wirkung äußerer Einflüsse auf den Ort der Neuanlagen zu beobachten, wenn sie in Widerstreit mit den inneren Dispositionen geraten. Da ist nun das Verhalten verschiedener Pflanzenarten ganz verschieden. Bei den einen überwiegen die inneren Faktoren; dann treten die Neubildungen unabhängig von äußeren Einwirkungen auf. Bei anderen überwiegen dagegen äußere Einflüsse, die innere Disposition macht sich aber oft noch lange durch Störungen geltend, wenn ihr ein Zwang angetan wurde, und die so entstandene Bildung ist dann auf die Dauer oft doch nicht lebenskräftig. Ein umgekehrt, d. h. mit dem Sproßpol in die Erde gepflanzter Weidenzweig treibt hier wohl Wurzeln, und am Wurzelpol, wenn auch nur widerwillig, Sprosse; diese oberen Sprosse gehen aber in der Regel bald ein und werden durch andere, unten am Sproßpol, dicht über den Wurzeln, neu entstandene kräftige Triebe ersetzt. Nur durch sorgfältige Unterdrückung solcher nachträglich am Sproßpol hervorkommender Triebe gelingt es, die oberen, am Wurzelpol entstandenen Sprosse am Leben zu erhalten. Bei Gipfelausläufer bildenden Pflanzen (Rubus fruticosus) treten aber in der Nähe der unverletzten Gipfelknospe unter Umständen leicht Wurzeln auf. Bei den sogen. Trauerformen der Bäume wird durch die Einwirkung der Schwerkraft die Bildung von Seitenzweigen an der oberen Biegung der hängenden Äste gefördert; die innere Polarität läßt sie dort aber nicht zu kräftiger Entwicklung kommen und veranlaßt bald wieder ihr Eingehen. In der Reben- und Obstzucht finden diese Beziehungen absichtliche Verwertung, indem durch Verbiegung der Rebe („Bogrebe“) oder der Äste von Spalierbäumchen auf die Bildung kurzlebiger blütentragender Seitensprosse hingewirkt wird. Bei den polar gebauten, sonst aber sehr einfach organisierten Siphoneen hat man hingegen beobachtet, daß die innere Polarität der Thallusglieder durch äußere Einflüsse verhältnismäßig leicht umgewandelt werden kann. Bei Bryopsis genügt zuweilen die bloße Umkehrung aufrecht gewachsener Sprosse, um den früheren Gipfelteil im dunklen Boden sich in einen Wurzelschlauch verwandeln und mit Bodenteilchen verwachsen zu sehen. Bei höheren Pflanzen dagegen ist eine solche Wandelbarkeit in der Regel nicht zu beobachten; nur bei der Orchidee Neottia und bei einzelnen Farnen (Platycerium, Asplenium esculentum) hat man beobachtet, daß einzelne Wurzelvegetationspunkte sich, jedoch aus innerer Disposition, zu stammbildenden Vegetationskegeln umwandeln können (64).

Die korrelativen Wachstumsvorgänge, die sich bei der Neubildung von Organen geltend machen, haben eine hohe praktische Bedeutung für die Gärtnerei, denn die künstliche Vermehrung und die Veredelung von Pflanzen sind ganz auf dieselben gegründet.

Bei der künstlichen Vermehrung werden abgetrennte Teile von Pflanzen benutzt, um aus denselben wieder vollständige Pflanzen zu erzielen. Das gelingt bei

manchen Pflanzen sehr leicht, bei anderen ist es schwieriger oder überhaupt nicht möglich. Das beliebteste und, wo anwendbar, am leichtesten zum Ziele führende Verfahren ist die Fortpflanzung durch Stecklinge, d. h. das Einsetzen abgeschnittener Zweige in Wasser, Sand oder Erde, wo sie sich bewurzeln (Pelargonien, Tradescantien, Fuchsien, Weiden usw.). Manche Pflanzen sind befähigt, schon aus einzelnen Blättern oder Blattstücken junge Pflänzchen entstehen zu lassen; auf diesem Wege werden hauptsächlich die Schiefblätter (Begonien) vermehrt. Die Fähigkeit, Adventivknospen und junge Pflänzchen zu bilden, besitzen die Blätter gewisser Pflanzen auch dann, wenn sie im Zusammenhang mit ihrer Mutterpflanze bleiben (vgl. die vegetative Vermehrung). Aber auch aus Wurzeln und Wurzelstücken ist es möglich, einzelne Pflanzen zu vermehren; ein Beispiel dafür bietet die Brechwurzel (Ipecacuanha), deren zerhackte Wurzelstücke wie Samen gesät werden. Auch einheimische Unkräuter, wie der Löwenzahn, besitzen diese Fähigkeit nur in zu hohem Grade.

Bei der Veredelung werden abgetrennte knospentragende Teile einer Kulturpflanze nicht zu selbständigen neuen Pflanzen gemacht, sondern auf einen anderen Pflanzenkörper (die Unterlage) übertragen und mit demselben zum Verwachsen gebracht. Beide Teile treten schon bei der bloßen innigen Berührung in Korrelation, denn dasselbe Zweigstück, welches sich, in Erde gepflanzt, am unteren Ende bewurzelt hätte, bildet auf das abgestutzte Ende der Unterlage aufgesetzt, keine Wurzeln, sondern verwächst mit demselben zu einer physiologischen Einheit. Es adoptiert die Wurzeln der Unterlage, wie diese die Knospen des Edelreises adoptiert, ohne zur Bildung eigener Neuanlagen zu schreiten. Bei geringer Affinität werden, nach Lindemuths Beobachtungen, aber auch von solchen Pfropfreisern, die sich als Stecklinge in Erde nur sehr schwer bewurzeln, Wurzeln — und zwar in freier Luft — gebildet. Die Verwachsung erfolgt mit Hilfe eines an beiden Pflanzenteilen entstehenden Wundgewebes, des sogen. Callus (vgl. S. 123). Gefäße und Siebröhren bilden sich nachträglich in dem Callus aus und verbinden die gleichartig funktionierenden Elemente in den beiden Stücken. Derartige organische Verwachsungen sind aber nur innerhalb engerer Verwandtschaft möglich. So lassen sich die zu den Amygdalaceen gehörigen Obstbäume leicht verbinden, also Pfirsich, Mandel, Aprikose, Zwetsche, Mirabelle, Pflaumen und Schlehe untereinander, ebenso die Pomaceen, Apfel und Quitte, Quitte und Weißdorn, nicht aber Apfel mit Pflaume oder gar mit Eiche u. dergl.

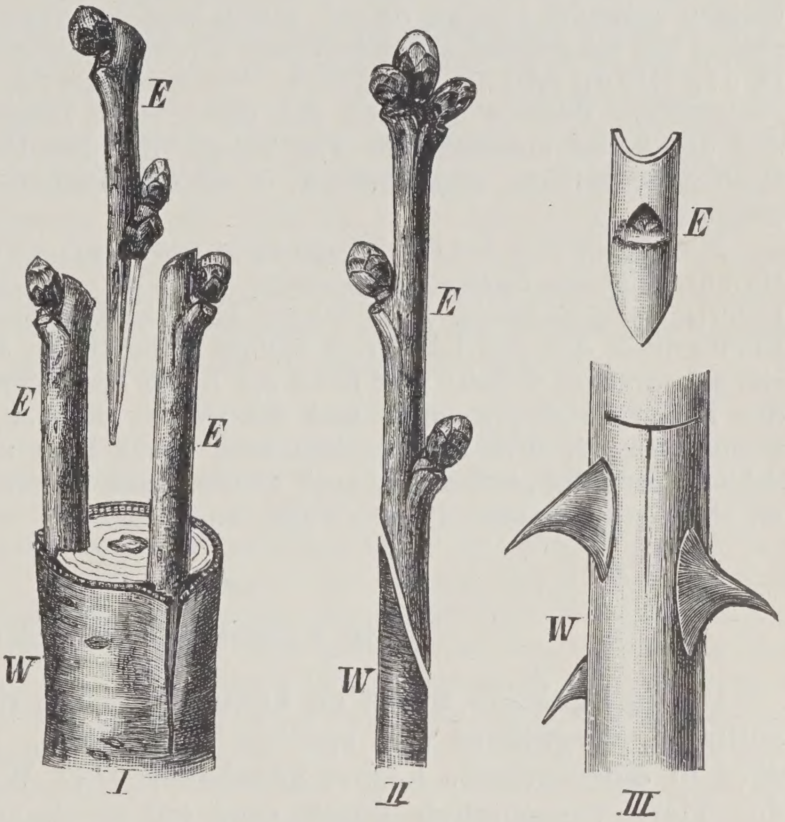


Fig. 211. Verschiedene Veredelungsweisen. *I* Pfropfen. *II* Kopulieren. *III* Okulieren. In allen Figuren bedeutet *W* Unterlage (Wildling), *E* Edelreis bezw. Edelauge.

Unterlage und Edelreis führen trotz der eingegangenen Lebensgemeinschaft und funktionellen Ergänzung ein in morphologisch-anatomischer Hinsicht selbständiges, unabhängiges Dasein, können sich aber in der gegenseitigen Entwicklung derart beeinflussen, daß z. B. einjährige Pflanzen, wenn sie auf zweijährige oder ausdauernde gepfropft werden, ebenfalls eine längere Lebensdauer gewinnen. Die Gattungs-, Species- oder Spielartcharaktere im Bau und der Beschaffenheit der Gewebe, im Dickenzuwachs usw. bleiben in beiden getrennt erhalten, was man sehr deutlich noch bis in das späteste

Alter an der Verwachsungsstelle sieht, wenn die beiden verbundenen Teile verschiedenes Dickenwachstum oder verschiedenartige Borkenbildung besitzen. In ganz seltenen, auch noch zweifelhaften Fällen, will man aber eine gegenseitige morphologische Beeinflussung festgestellt haben (Pfropfhybride) (S. 257). — In der gärtnerischen Praxis haben sich verschiedene Methoden für die Verbindung der Pflanzenteile bei der Veredelung herausgebildet, von denen hier nur die wichtigsten erwähnt sein mögen.

Das Kopulieren ist die Verbindung eines Edelreises mit der jugendlichen, etwa gleich stark entwickelten Unterlage. Mit schrägem, glattem Schnitt werden beide gestutzt, aufeinander gepaßt und die Verbindungsstelle wasser- und pilzdicht mit Baumwachs nach außen abgeschlossen (Fig. 211 *II*).

Das Pfropfen ist die Einfügung schwächerer Edelreiser in die stärkere Unterlage. In den abgestutzten Stamm der Unterlage werden meist mehrere Edelreiser eingesetzt. Es wird dabei beachtet, daß wenigstens stellenweise die Cambialregionen der zu verbindenden Teile aufeinander stoßen, daß also Rinde auf Rinde trifft. Man pfropft im übrigen entweder in den Spalt, indem man das abgestutzte Ende der Unterlage längs spaltet und die passend zugeschnittenen Edelreiser peripherisch einsetzt, oder man pfropft in die Rinde oder in die Seite. Bei dem Pfropfen in die Rinde wird das flach zugeschnittene Edelreis zwischen die, durch einen Längsspalt klaffend gemachte Rinde und den Splint eingeschoben (Fig. 211 *I*). Bei dem Pfropfen in die Seite werden die Edelreiser, keilartig zugeschnitten, in seitliche Einkerbungen der Unterlage von außen eingesetzt.

Eine besondere Art des Pfropfens ist das Okulieren (Fig. 211 *III*); dabei wird nicht ein ausgebildetes Zweigstück, sondern eine Knospe (ein „Auge“) unter die Rinde der Unterlage eingeschoben. Das Edelauge bleibt im Zusammenhang mit einem schildförmigen Rindenstück, das sich leicht vom Splinte ablöst, wenn die Pflanzen im Saft sind. Durch einen T-förmigen Schnitt wird dann die Rinde der Unterlage gelockert, das Rindenschild des Edelauges eingeschoben und das Ganze dicht abgeschlossen. Unter Umständen trennt man mit dem Rindenschild auch etwas Holz mit ab (Okulieren mit beholztem Schild). Auf das „treibende Auge“ okuliert man im Frühjahr, auf das „schlafende“, erst im nächsten Jahr austreibende Auge, im Sommer.

Die Phase der Streckung.

Um in Funktion treten zu können, müssen sich die embryonalen Anlagen entfalten, vergrößern und spezifisch ausbilden. Ihre Vergrößerung geschieht aber in eigenartiger, höchst haushälterischer Weise. Während die Organe der Tiere vornehmlich durch eine entsprechende Vermehrung ihrer organischen Baustoffe, durch Bildung neuer, gleichartiger plasmareicher Zellen an Größe zunehmen, und deshalb für ihre Vergrößerung einer außerordentlichen Zufuhr und Verarbeitung von Nährstoffen bedürfen, erreichen die Pflanzen ihre hauptsächlichste Größenentfaltung durch die Aufnahme von Wasser in ihre Zellen, welches ihnen reichlich von außen geboten wird und nicht erst durch innere Ernährungstätigkeit geschaffen zu werden braucht.

Die Aufnahme des Wassers in die lebendigen Zellen erfolgt nicht mit gleichmäßiger Geschwindigkeit und nicht mit einem Male wie in poröse Körper. Die Zellen müssen sich zugleich durch echte Wachstumsvorgänge vergrößern, um das Wasser in sich aufnehmen zu können. Von der jugendlichen und mit Protoplasma dicht angefüllten Zelle wird das Wasser durch Imbibitions- und osmotische Kräfte zunächst im Protoplasma ziemlich gleichmäßig verteilt. Bei übergroßem Wasserreichtum des letzteren erfolgt dann aber eine Wasserabsonderung in Vakuolen (vgl. Fig. 58). Da die Flüssigkeit der Vakuolen organische und anorganische Stoffe gelöst enthält, so wirken diese Binnensafträume anziehend auf das Wasser der Umgebung und veranlassen die Aufnahme weiterer Wassermengen. Durch diese wird der Saft der Vakuolen zwar zunächst verdünnt und seine Anziehungskraft für Wasser vermindert; jedoch sorgt eine regulatorische Tätigkeit des Plasmas bald wieder für eine entsprechende Vermehrung gelöster Stoffe,

so daß trotz fortwährender Verdünnung die Koncentration und Anziehungskraft der Lösung immer wieder hergestellt oder sogar noch gesteigert werden kann. Die einzelnen Vakuolentröpfchen fließen bei der Vergrößerung allmählich zusammen und bilden schließlich einen einzigen großen Saftraum in der Mitte der Zelle.

Während dieser Vorgänge hat sich das Volumen der Zelle bis auf das Hundertfache und noch viel mehr vergrößert, ohne daß die Masse des Protoplasmas eine merkliche Vermehrung erfahren hätte. Die Kosten der Vergrößerung trägt fast ausschließlich das Wasser des Saftraumes, welches man zum Unterschied von dem „Nährwasser“, dem „Imbibitionswasser“ und dem „Konstitutionswasser“ der Pflanzen als „Schwellwasser“ bezeichnen könnte.

Wie man bei einer ganzen Reihe anderer Lebensäußerungen beobachtet, daß sie langsam eingeleitet werden, dann zu einem Maximum ansteigen, um ganz allmählich abnehmend zum Stillstand zu kommen, so erfolgt auch die Füllung der Zellen mit Schwellwasser nicht in gleichmäßigem Fortschreiten. Auch sie beginnt langsam, wird zu einem Maximalbetrag beschleunigt und sinkt allmählich bis zu völligem Stillstand. Da alle gleichaltrigen Zellen eines Organs dieses Ansteigen und Abnehmen der Größenzunahme etwa zu gleicher Zeit durchmachen, so kommt diese Erscheinung auch im Wachstum ganzer Organe zum Ausdruck und führt hier zum Auftreten der sogen. großen Periode des Wachstums. Kleinere Perioden des Ansteigens und Fallens im Zuwachs treten innerhalb der großen Periode durch zeitweilige Änderungen der Temperatur, des Lichts und anderer, den Zuwachs beeinflussender Verhältnisse auf(65).

Daß die großen Mengen flüssigen Wassers, welche bei der Streckung in die wachsenden Organe eingeführt werden, deren Festigkeit nicht vermindern, sondern im Gegenteil zur Festigung der jungen Gewebe durch den Turgor benutzt werden, ist in einem früheren Kapitel gezeigt worden (vgl. S. 141 ff.). Der osmotische Druck des Zellinneren scheint außerdem aber auch eine wichtige Rolle bei dem Wachstum der Zellmembran selbst zu spielen. Zellen, in denen der Turgor durch Wasserverlust beim Welken oder bei der Plasmolyse aufgehoben ist, zeigen kein Wachstum mehr, so daß eine gewisse Dehnung der Membranen eine mechanische Vorbedingung für ihr Flächenwachstum zu sein scheint. Diese Dehnung veranlaßt aber keineswegs für sich allein das Wachsen der Membran; die inneren, physiologischen Bedingungen für das Wachstum derselben liegen in einer vom lebendigen Plasma ausgehenden und von dessen Reizzuständen beherrschten Lebenstätigkeit. Ohne das Zutun dieser eigentlichen physiologischen Wachstumsvorgänge tritt auch bei stark gespannten Membranen kein Wachstum ein; umgekehrt können aber Membranen auch bei sehr schwacher Turgorspannung ein ergiebiges Flächenwachstum aufweisen. Eine Proportionalität zwischen Membranspannung und Zuwachs wird man bei dieser Sachlage natürlich nicht erwarten dürfen und aus dem Fehlen einer solchen nicht auf die völlige Bedeutungslosigkeit der Spannung schließen dürfen. Die Bedeutung der Turgordehnung für das Membranwachstum wird aber verschieden sein, je nachdem das Wachstum das Resultat von Einlagerung (Intussusception) neuer kleinster Membranteilchen innerhalb der vorhandenen Membransubstanz ist, oder auf plastischen (unelastischen, daher nicht rückgängig zu machenden) Dehnungen beruht. Im letzteren Falle wird die Membran beim Flächenwachstum stetig dünner und muß durch Auf- oder Anlagerung (Apposition) neuer Schichten vom Plasma aus eine Verstärkung erfahren. Beide Vorgänge, die unter Umständen zusammenwirken, können für das Wachstum von Membranen in Anspruch genommen werden. Für den Vorgang der plastischen Dehnung ist die Notwendigkeit einer, wenn auch geringen, Turgorspannung selbstverständlich; bei Intussusceptionswachstum könnte eine Dehnung der Einlagerung kleinster Teilchen förderlich sein, ist aber hier keine notwendige Vorbedingung für das Wachstum.

Die Annahme von Intussusceptionswachstum hängt innig zusammen mit den Vorstellungen über den feineren Bau (die sogen. Molekularstruktur) der organischen Gebilde,

den man als Bedingung für solche Einlagerung voraussetzen muß. Die Quellungserscheinungen organischer Substanzen, die sich bis zur schließlichen Lösung fortschreitend steigern lassen, lehren einmal, daß das Imbibitionswasser nicht in vorhandene Lücken capillar eindringt, sondern sich selbst den Raum erst schafft durch Auseinandertreiben der festen Partikel, und zweitens, daß diese Partikel, zwischen die sich Wasser eindrängt und lagert, nur verschwindende (molekulare) Größe besitzen. Diese innigste Durchdringung ist aber der Ausdruck kräftig waltender Molekularattraktionen, die bekanntlich zu enormen Kraftleistungen befähigt sind; sie wird ermöglicht durch die besondere Molekularstruktur der organischen Substanz, deren Kohäsion durch überwiegende Wassermengen zunächst nicht aufgehoben wird. Ihre Anordnung hat man sich daher in waben- oder netzartigen Verbänden vorgestellt und die häufige optische Doppelbrechung organischer Gebilde mit kristallähnlicher Struktur und bestimmter Orientierung der Molekülgruppen (Micelle Nägelis) oder mit Spannungsverhältnissen colloidaler Wabensysteme (Bütschli) in Verbindung gebracht. — Ähnlich wie die mit der Imbibitionsflüssigkeit in innigster und deshalb wirksamster Berührung stehende, zumeist colloidale organische Substanz dieser z. B. Farbstoffe entreißt und in sich aufnimmt, können wohl aber auch ähnlich zugeführte neue Celluloseteilchen der Membran innerlich angegliedert werden (66).

Nachdem im Vorhergehenden die Streckungsvorgänge an der einzelnen Zelle in ihren wichtigsten Punkten hervorgehoben wurden, seien nun die Erscheinungen des Gesamtwachstums an vielzelligen Organen geschildert, wobei zu berücksichtigen ist, daß bei gleich starkem Gesamtwachstum zweier Organe die Wachstumsintensität ihrer begrenzten Zuwachszonen um so größer ist, je kürzer letztere sind. So beobachtete Büchner bei Pilzhyphen und Pollenschläuchen, wo das Wachstum auf kurze Strecken hinter der Spitze beschränkt ist, in der Zeiteinheit Zuwachse von 220 % gegenüber 1 % bei den meisten höheren Pflanzen.

Im allgemeinen wachsen pflanzliche Organe sehr langsam, so langsam, daß man bei kurzer Beobachtungszeit überhaupt kein Wachstum bemerkt. Nur die Staubfäden mancher Gräser wachsen so rasch, daß man ihre Verlängerung mit bloßem Auge noch unmittelbar wahrnehmen kann: Bei den Staubfäden von Triticum (Weizen) ist ein Zuwachs von 1,8 mm in der Minute beobachtet worden, was etwa der Geschwindigkeit des großen Zeigers einer Taschenuhr entspricht. Selbst die, nach diesen Staubfäden am schnellsten wachsenden Pflanzenteile, nämlich die Blattscheiden der Bananen, stehen mit 1,1 mm, die Bambusschößlinge mit 0,6 mm, kräftige Kürbissprosse mit 0,09—0,1 mm gegen erstere erheblich zurück; die allermeisten Pflanzen erreichen aber auch unter günstigen Verhältnissen nur einen viel geringeren Zuwachs (0,005 mm und darunter in der Minute) (67).

Um die Zuwachsgrößen der Pflanzen besser messen zu können, bringt man sie in vergrößertem Maßstabe zur Anschauung. Das kann z. B. durch das Mikroskop geschehen, welches mit der Vergrößerung des durchmessenen Raumes auch die Geschwindigkeit entsprechend vergrößert. — Die bequemste, und bei gröberen Versuchsobjekten deshalb meist benutzte Methode der Messung ist aber die mittels Hebelübertragung. Die darauf beruhenden Apparate werden als Auxanometer bezeichnet. Das Prinzip der Auxanometer, so verschieden sie in der Ausführung sonst sein mögen, ist immer die Übertragung der Zuwachsgröße auf einen längeren Hebelarm und die dadurch erreichte vergrößerte Darstellung. Fig. 212 stellt links ein einfaches Auxanometer, den sogen. „Zeiger am Bogen“ vor, mit welchem der Zuwachs des Blütenschaftes beobachtet wird. Ein dicht unter der Gipfelknospe befestigter Faden läuft über die kleine Rolle *r* und wird durch das Gewicht *g* gerade nur straff gehalten, ohne einen störenden Zug auf den Schaft auszuüben. *z* ist ein mit der Rolle *r* fest verbundener leichter Zeiger (trockner Grashalm), welcher etwa 20 mal so lang als der Halbmesser der Rolle, den jeweiligen Zuwachs des Schaftes also zwanzigfach vergrößert an der Skala *S* angibt. Ein Zuwachs des Schaftes um $1/5$ mm hat demnach die Verschiebung der Zeigerspitze um 4 mm zur Folge.

Um die zu bestimmten Zeiten hier notwendigen Ablesungen zu ersetzen, hat man selbstregistrierende Auxanometer verwandt, deren Konstruktion in Fig. 212, rechts, in einfacher Ausführung dargestellt ist. Der große Hebelarm wird durch die Radien der größeren Rolle *R* gebildet, der kleine durch die Radien der kleinen Rolle *r*. Bei der durch den wachsenden Sproß erfolgenden Drehung nach links hebt sich ein mit horizontalem Zeiger *Z* versehenes Metallstück, welches durch das Gegengewicht *W* equilibriert ist. Der horizontale spitze Zeiger berührt rechts eine durch das Uhrwerk *U* in gleichmäßige Drehung versetzte Trommel *C*, die mit einem berußten Papier überzogen ist und auf welcher der anliegende Zeiger einen weißen Strich hinterläßt. Dreht sich die Trommel in je einer Stunde einmal herum, dann gibt der senkrechte Abstand zwischen den Zeigerspuren den jeweiligen stündlichen Zuwachs selbsttätig an.

Die große Periode, die aus inneren Ursachen beim Wachstum der Organe in die Erscheinung tritt, kommt auf dem selbstregistrierenden Auxanometer besonders scharf zum Ausdruck in dem allmählichen Auseinanderrücken der zuerst dicht zusammengedrängten Striche und in der späteren Wiederannäherung. Für die Zuwachsgrößen einer Lupinenwurzel fand Strehl beispielsweise nach je 24 Stunden in Zehntelmillimetern:

58, 70, 92, 97, 165, **192**, 158, 137, 122, 83, 91, 59, 25, 25, 8, 2, 0.

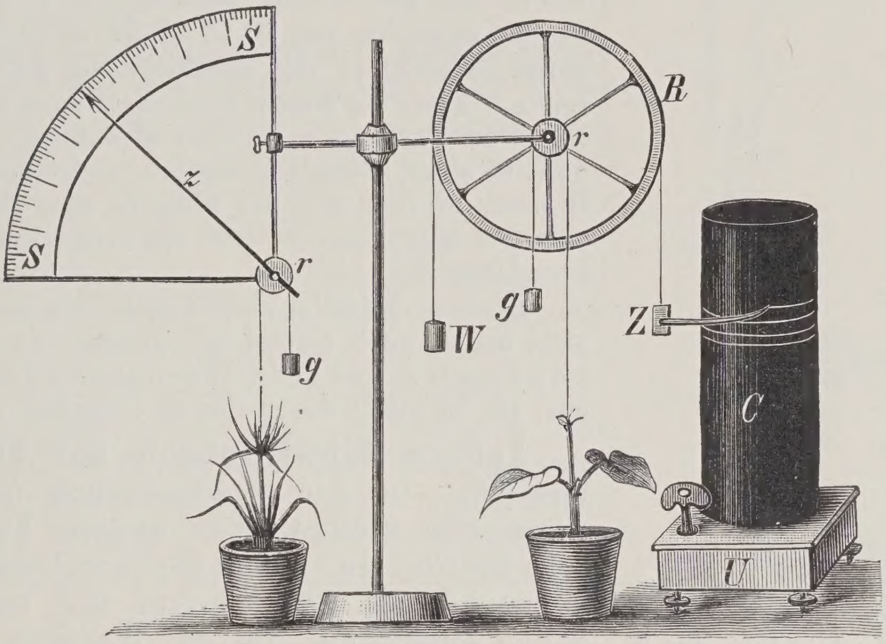


Fig. 212. Wachstumsmesser (Auxanometer). Links ein einfaches Hebelauxanometer (Zeiger am Bogen), rechts ein selbstregistrierendes Auxanometer. Nähere Erklärung im Text.

Desgleichen wurde für das erste Stammglied im Dunkeln beobachtet ein Zuwachs von

8, 9, 11, 12, 35, 43, 41, 50, 51, 52, **65**, 54, 43, 37, 28, 18, 6, 2, 0.

Im Gesamtwachstum einer ganzen Wurzel macht sich aber die große Periode d. h. also die allmähliche Zunahme der Wachstumsgröße von Null bis zu einem Maximum und die folgende Wiederabnahme bis zu Null keineswegs so rein geltend, wie in den einzelnen Zellen, da in einer sich verlängernden Wurzel nur eine kleine Strecke tatsächlich im Wachsen begriffen ist. Bei Wurzeln von Landpflanzen erstreckt sich die wachsende Region meist nur über etwa 1 Centimeter von der Spitze ab, oft sogar nur über $1/2$ Centimeter; ihre Länge ist aber unter dem wechselnden Einfluß äußerer Bedingungen wie mechanischer Hindernisse, Kälte, Wärme, Trockenheit usw. gewissen Schwankungen unterworfen. In dem ganzen rückwärtsliegenden Teil haben die Zellen ihre endgültige Größe schon erreicht: Die große Periode der wachsenden Zellen spielt sich auf der kurzen Endstrecke ab. Sie kommt daher sehr anschaulich zum Ausdruck, wenn man gleiche kurze Zonen, die aus nahezu gleichaltrigen Zellen bestehen, nahe der Wurzelspitze durch Tuschemarken abgrenzt. Fig. 213 *I* zeigt eine keimende Feldbohne, deren Wurzel an der Spitze in verschieden alte, aber gleich lange Querzonen abgeteilt wurde. Fig. 213 *II* zeigt dieselbe Wurzel nach 22stündigem Wachsen. Die Tuschemarken sind durch das Wachstum der Zonen auseinander gerückt, aber verschieden weit, je

nach Lage bezw. Alter. Die größte Streckung zeigt die Querzone 3; von da nimmt die Vergrößerung sowohl nach den jüngeren Zonen 2 und 1, wie nach den älteren 4 bis 10 ab. In der verschiedenen Größenzunahme spricht sich aber nichts anderes aus, als die große Periode des Wachstums während der verschiedenen Altersstadien der Zellen. Für die Zuwachse millimeterlanger Querzonen einer Wurzel von Vicia Faba fand SACHS den Zuwachs von 15 58 82 35 16 13 5 3 2 1 0 in Zehntelmillimetern nach 24 Stunden, wobei die linksstehenden Zahlen die jüngeren, die rechtsstehenden die älteren Querzonen bezeichnen (68).

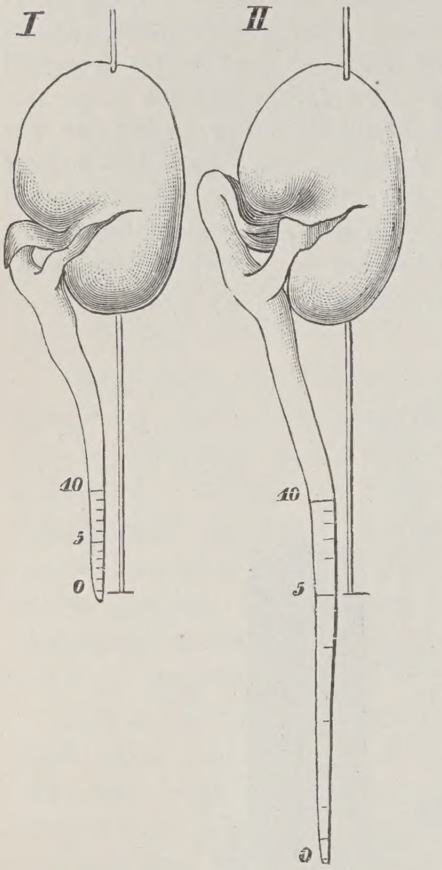


Fig. 213. Die Verteilung des Zuwachses an der Wurzelspitze einer Feldbohne (Vicia Faba). Bei *I* die Wurzelspitze durch Tuschemarken in 10 gleiche Querzonen von 1 mm geteilt. In *II* dieselbe Wurzel nach 22 Stunden. Die Tuschestriche sind durch ungleiches Wachstum der Zonen verschieden weit auseinander gerückt. Nach SACHS.

Bei Sproßachsen ist die wachsende Region gewöhnlich viel länger als bei Wurzeln; sie ist meist einige Centimeter lang, erreicht in einzelnen Fällen sogar 50 und mehr Centimeter Länge. Die durch die große Periode bedingte Verteilung des Zuwachses entspricht im übrigen in den jungen Teilen unterhalb des Vegetationspunktes ganz derjenigen bei Wurzeln. Die Verteilung des Wachstums an einem Sproß der Gartenbohne, welcher von der Spitze ab in Querzonen von 3,5 mm geteilt war, ergab nach SACHS in 40 Stunden die Zuwachse von 20 25 45 65 55 30 18 10 10 5 5 5 Zehntelmillimetern mit zunehmendem Alter der Querzonen. Auch bei sogen. *interkalarem Wachstum*, wobei der Zuwachs nicht an und unter der Spitze, sondern in einer beliebigen Region, meist am Grunde des Organs, erfolgt (wie bei Blättern und Blütenschäften mancher Monokotylen), tritt die große Periode bei der Streckung auf.

Diese periodische Veränderung des Zuwachses tritt also, um es noch einmal hervorzuheben, auch *unter konstanten äußeren Wachstumsbedingungen* ein, sie ist allein durch innere Ursachen bestimmt.

Äußere Einwirkungen auf das Wachstum (69). In den beschriebenen Verlauf der Streckung greifen aber äußere Faktoren oft sehr kräftig ein, indem sie beschleunigend oder hemmend auf den Verlauf der inneren Vorgänge einwirken. Da das Wachsen eine echte Lebensäußerung ist, so wird es von allen jenen Umständen, welche als Reize auf das Protoplasma wirken, auch beeinflußt werden können; da es andererseits eine mechanische Leistung ist, werden auch rein mechanische Momente sich bei demselben geltend machen. Besonders treten in ihrer Einwirkung auf das Wachstum hervor die Temperatur, das Licht, Feuchtigkeit, Sauerstoffgehalt und stoffliche Beschaffenheit der Umgebung, Zug- und Druckkräfte, sowie auch Verletzungen.

Die *Temperatur* beeinflußt das Wachstum derart, daß im allgemeinen sowohl die niederen Wärmegrade um 0°, wie auch höhere von 40 bis 50°, dasselbe völlig zum Stillstand bringen. Zwischen jenem *Minimum* und diesem *Maximum* der Temperatur, bei welchen das Wachstum erlischt, liegt als *Optimum* (vgl. S. 138) der Wärmegrad zwischen 22 und 37° C. Die hier ganz im allgemeinen angegebenen sogen. *Kardinalpunkte der Temperatur* schwanken deshalb innerhalb so weiter Grenzen, weil sie sowohl bei verschiedenen Pflanzenarten als auch für Individuen derselben Art, wie auch für verschiedene Lebens- und Entwicklungsvorgänge eines und desselben Individuums, verschieden sind. Bei Pflanzen tropischer Klimate kann

beispielsweise das Minimum bei + 10° C. liegen, während unsere, oft die Schneedecke durchbrechenden ersten Frühjahrspflanzen ebenso wie die Bewohner der Hochalpen und der polaren Regionen bei Temperaturen wenig über 0° noch kräftig wachsen. Ebenso zeigen Optimum wie Maximum entsprechende Abweichungen bei verschiedenen Pflanzenarten; so gedeihen, wie schon erwähnt, in den heißen Geysirn gewisse Algen und Bakterien bei Temperaturen bis zu 80° C., welche andere Pflanzen sofort vernichten würden. — Das Optimum liegt gewöhnlich nicht in der Mitte zwischen Minimum und Maximum, sondern dem Maximum genähert.

Auf die Wachstumsvorgänge bei der Keimung der Samen wirken merkwürdigerweise Temperaturschwankungen, selbst wenn sie zeitweise nach unten erfolgen, meist günstiger ein als ein Verharren selbst auf der Optimaltemperatur, was auch für die Keimung von gewissen Pilzsporen zu gelten scheint (70).

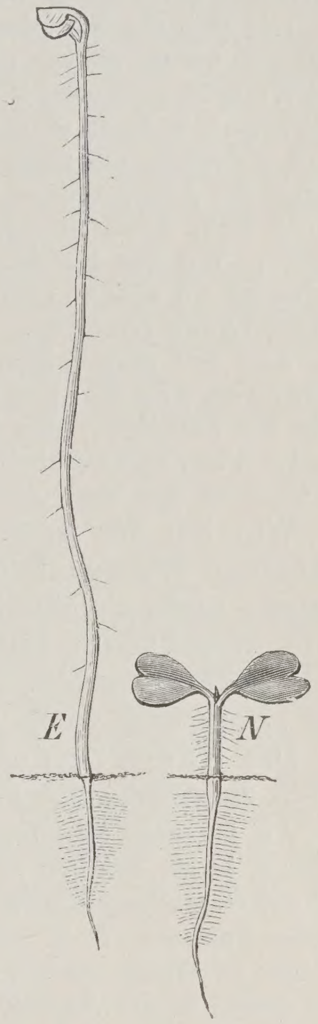


Fig. 214. Zwei gleichalte Keimpflänzchen des weißen Senfs (Sinapis alba). *E* im Dunkeln erwachsen, etioliert. *N* bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung gewachsen, normal. Die Wurzeln mit Wurzelhaaren.

Der Lichteinfluß macht sich in anderer Weise geltend als die Wärmeschwingungen. Das Licht verlangsamt im allgemeinen das Wachstum, was am auffallendsten aus den Beobachtungen an Stengeln und Wurzeln hervorgeht, was aber auch für Blätter gilt, wenn man von krankhaften Wuchsstörungen derselben in dauernder Dunkelheit absieht. Sehr starke Beleuchtung kann das Wachstum zu völligem Stillstand bringen. Sehr schwache Beleuchtung oder Finsternis wirken dagegen zunächst wachstumsfördernd auf die Organe. Die Wirkung der Dunkelheit auf die Pflanzen zeigt sich aber in verschiedener Weise, je nachdem der Lichtabschluß entweder mit Unterbrechungen nur kurze Zeit dauert, wie bei dem Tag- und Nachtwechsel, oder aber gleichmäßig anhält. Lang andauernde Dunkelheit bedingt zumeist ein vom normalen eigenartig abweichendes Wachstum, indem einzelne Organe eine abnorme Förderung erfahren, andere aber stark gehemmt werden, so daß das ganze Aussehen einer in anhaltender Finsternis gewachsenen Pflanze gänzlich fremdartig erscheint (Etiolement). Die Stengel dikotyler Pflanzen findet man im Dunkeln meist unverhältnismäßig verlängert, weichlich und weiß. Die Blattspreiten solch' etiolierter oder vergeilter Pflanzen bleiben meistens klein und verharren lange in der Knospenlage (vgl. Fig. 214 *E*); ihre Farbe ist ein helles Gelb.

Das Kleinbleiben der Blattspreiten und die Verlängerung der Stengel (und Blattstiele) im Dunkeln treten nicht bei allen Pflanzen und nicht unter allen Umständen auf. So bleiben die Stengelglieder gewisser Cacteen im Dunkeln sogar erheblich kürzer als im Hellen; die Blätter der Runkelrübe (Beta) werden im Finstern ebenso groß oder größer als im Licht, und das gleiche wird unter günstigen Ernährungsverhältnissen auch bei anderen Pflanzen (Kürbis) beobachtet. — Im gedämpften Licht eines Waldes werden die Blätter oft weit größer als im vollen Tageslicht. Sie sind dann auch durch Reduktion der Zellschichten im Verhältnis dünner und die in voll beleuchteten Blättern eng aneinander schließenden Palisadenzellen verjüngen sich dabei nach unten trichterförmig,

große Hohlräume zwischen sich lassend. So prägt sich der Einfluß der Lichtintensität auch im inneren Bau solcher „Schattenblätter“ aus. Die Blüten werden im Finstern, falls ihnen die in assimilierenden Blättern erzeugten Bildungsstoffe reichlich zur Verfügung stehen, nach Sachs' Beobachtungen kaum anders als im hellen Sonnenlicht ausgebildet, zumeist nur blasser in der Farbe. Ist jedoch zugleich die Tätigkeit der ernährenden Assimilationsorgane durch Lichtmangel unterdrückt oder geschwächt, dann bilden, wie Vöchting fand, viele Pflanzen nur unscheinbare, krüppelhafte oder geschlossen bleibende, kleistogame Blüten (S. 253) aus.

Die Gewebe des Stengels und der Blattstiele sind bei vergeilten Dunkelpflanzen bedeutend wasserreicher und dünnwandiger ausgebildet als bei normalen Lichtpflanzen. Die Wurzeln etiolierter Pflanzen findet man dagegen oft kürzer entwickelt. Der Reservestoffvorrat, welcher einer Pflanze im Dunkeln zur Verfügung steht, wird so hauptsächlich dazu verwandt, um unter Zuhilfenahme einer ungewöhnlich großen Menge von Schwellwasser die Achsenteile zu verlängern. Diese Wirkung der Dunkelheit ist aber von größtem Werte beim Austreiben junger Pflanzenteile aus unterirdischen Knollen, Rhizomen und Samen. Wo den Blättern selbst diese Aufgabe zufällt, wie bei vielen Monokotylen, da verhalten sie sich wie die Stengel dikotyler Gewächse, indem sie im Dunkeln eine abnorme Länge erreichen.

Aus den mitgeteilten Erfahrungen wäre zu schließen, daß das Wachstum der Pflanzen des Nachts stärker als tagsüber sein müsse. Dies trifft in der Tat zu, falls die sonstigen, das Wachsen beeinflussenden Umstände annähernd gleich bleiben. Starke Temperaturerniedrigung während der Nacht u. a. m. kann aber einen Vorsprung zu Gunsten des Tageszuwachses bewirken.

Wie bei der Assimilation die Strahlen verschiedener Wellenlänge verschiedene Wirksamkeit besitzen, so ist es auch für die Wachstumserscheinungen nicht gleichgültig, welche Lichtfarbe auf die Pflanze einwirkt. Bei dem Wachstum sind es aber die stärker brechbaren, die sogen. chemischen Strahlen, welche die Lichtwirkungen bedingen; die rotgelbe Seite des Spektrums wirkt auf viele Pflanzen wie Dunkelheit.

Die Feuchtigkeit beeinflußt das Wachstum sowohl als Reiz, wie auch durch Begünstigung des Turgors bei verminderter Transpiration.

An feuchten Standorten sind die Pflanzen daher meist größer als auf trockenen Plätzen, ja sie weichen oft im ganzen Habitus von jenen ab. Von besonderer Wirkung auf die Gestaltung erweist sich aber häufig die direkte Berührung mit Wasser. Amphibische Pflanzen, d. h. solche, welche befähigt sind, sowohl auf dem Lande wie im Wasser zu leben, entwickeln im Wasser oft ganz andere Formen als in der Luft. Dies tritt zumal in der Ausbildung der Blätter hervor, welche im Wasser häufig schmal oder fein zerschlitzt, an der Luft aber mit breiter Spreite ausgebildet werden (vgl. Fig. 34). (Proserpinaca palustris entwickelt] nach McCallum schon in wasserdampfgesättigter Luft zerschlitzte Wasserblätter, in wasserentziehenden Salzlösungen aber, wie in der Luft, flächige Luftblätter.) Aber auch Blattstiele, Internodien und Schwimmblätter zeigen im Wasser oft eine andere Ausbildung als in der Luft, und es erinnert ihr Verhalten im Wasser an die Überverlängerung im Finstern (Wasser-Etiolement). Das ist besonders der Fall bei untergetauchten Wasserpflanzen, deren Organe an die Wasseroberfläche gebracht werden müssen (Keimstengel und Blattstiele von Trapa natans, Stengel von Hippuris, Blattstiele von Nymphaea, Nuphar, Hydrocharis). Diese Pflanzenteile sind durch die starke Verlängerung unter Wasser in den Stand gesetzt, ihre Länge der Höhe des über ihnen stehenden Wasserspiegels anzupassen, in flachem Wasser kurz zu bleiben, in tiefem sehr lang zu werden.

Daß freier Sauerstoff von der größten Bedeutung für das Wachstum ist, wurde bereits (S. 193) bei der Atmung erwähnt. Ohne gasförmigen oder gelösten freien Sauerstoff in der Umgebung steht das Wachstum, wenigstens bei den Aërobionten, völlig still.

Mechanische Einwirkungen. Druck und Zug wirken in zweierlei Weise auf das Wachstum, einmal rein mechanisch, außerdem aber auch als Reiz. Mechanische Widerstände verlangsamen zwar zunächst das Wachstum, reizen dann aber, wie Pfeffer fand, das Plasma zu einer Entspannung der elastischen Zellmembran, manchmal auch noch zu einer Erhöhung des Turgors. Durch die Entspannung der Haut wirkt der

Turgor in erhöhtem Maße auf das Hindernis ein. Ist es nicht zu überwinden, so veranlaßt die plastische Nachgiebigkeit der Membranen ein enges Anschmiegen an dasselbe; Wurzeln und Wurzelhaare, die in enge oder flache Hohlräume eindringen, füllen dieselben daher oft so vollkommen aus, als ob sie als flüssige Masse hineingegossen worden wären. — Von einem starken mechanischen Zug sollte man erwarten, daß er durch Unterstützung und Förderung der Turgordehnung das Längenwachstum beschleunige. Die entscheidende Rolle des Plasmas bei den Wachstumsvorgängen tritt aber auch hier insofern wieder recht deutlich zu Tage, als mechanische Zugkräfte nach Hegler zunächst geradezu eine Verzögerung des Wachstums zur Folge haben können (außer im Maximum der großen Periode), dann aber Beschleunigungen bis 20 % bedingen. Der elastische Widerstand und die Festigkeit der Membranen werden unter der Zugwirkung erhöht, ja es kann sogar durch Zugkräfte die Ausbildung von Kollenchym und Sklerenchym an Orten veranlaßt werden, wo sie ohne die Zerrung nicht entstanden wären. So kann die Zerreißungsfestigkeit des Blattstiels von Helleborus, die zunächst nur einem Zug von 400 g entspricht, allmählich auf 3500 g gesteigert werden (71).

Luftverdünnung, chemische Reize und innere Zustände können das Wachstum ebenfalls erheblich beeinflussen. So kann auch die Anlage und Entwicklung der Fortpflanzungsorgane wie der Übergang zum Winden zu auffälliger Verlängerung der Internodien und zur Reduktion der Blattflächen Anlaß geben (Blüh- und Winde-Etiolement).

Nach Townsend wirken unwesentliche Verletzungen merklich fördernd auf das Wachstum, stärkere und wesentliche Verletzungen hemmen dasselbe.

Die innere Ausbildung der Organe.

Die innere Ausbildung der Organe wird erst dann vollendet, wenn sie nach der Streckung ihre endgültige Größe erreicht haben; dann erst werden sie für die Ausübung ihrer spezifischen Funktionen völlig in stand gesetzt. Die wesentlichsten Vorgänge dabei sind die Verschmelzungen (Fusionen) von Zellräumen untereinander und die Verdickungen der Zellmembranen, welche oft in eigenartiger Form und Verteilung auftreten (S. 56 ff.). — Bei Pflanzen, welche für eine längere Lebensdauer eingerichtet sind, folgt auf das Längenwachstum häufig noch ein Wachsen in die Dicke (S. 105 ff.).

Entwicklungsperioden und Lebensdauer.

Durch den Wechsel der Tages- und Jahreszeiten ist für das Pflanzenreich eine periodisch wiederkehrende Änderung in maßgebenden äußeren Einwirkungen, vor allem im Licht und in der Temperatur gegeben. Es ist daher natürlich, daß jenen wiederkehrenden Änderungen periodische Schwankungen im Wachstum der Pflanzen entsprechen. Merkwürdigerweise geben diese Schwankungen aber nicht nur passiv den jeweiligen äußeren Einwirkungen nach; die Lebensvorgänge im Innern der Pflanze eignen sich vielmehr mit der Zeit die gewohnte Periodizität dergestalt an, daß sie dieselbe auch unabhängig vom äußeren Wechsel, ja diesem entgegen, kürzere oder längere Zeit beibehalten können. Die nächtliche Steigerung des Wachstums, welche sich im allgemeinen nach Mitternacht durch ein Ansteigen der Wachstumskurve geltend macht, und die besonders nach der Mittagszeit eintretende Verzögerung am Tage, kann sich beispielsweise noch lange Zeit in andauernder Finsternis und bei konstanter Temperatur erhalten. So beobachtete man, daß Helianthus tuberosus unter solchen Umständen zwei Wochen lang die Tagesperiode regelmäßig anzeigte. Es ist das nur ein Beispiel einer, von der gewohnten Rhythmik hinter-

lassenen Nachwirkung, deren Erscheinungen, an die fundamentale psychische Fähigkeit der Erinnerung anklingend, uns noch öfter begegnen werden.

Tiefer eingreifend in das Leben der Pflanzen ist der Wechsel der Jahreszeiten, der den meisten Pflanzen unserer Zone eine ausgesprochene Winterruhe aufgenötigt hat. Es ist dies freilich keine absolute Ruhe, denn wenn auch die äußerlich sichtbaren Entwicklungs- und Wachstumsvorgänge stillstehen, so ruhen die allerdings verlangsamten inneren Lebensprozesse doch keineswegs ganz.

Die durch den klimatischen Wechsel bedingte Jahresperiode, welche im Laubfall während des Spätsommers und im Ausschlagen neuer Triebe und Blätter im Frühjahr besonders auffällig zum Ausdruck gelangt, ist dem Lebensgang unserer Bäume und Sträucher so fest eingeprägt, daß diese auch in tropischen Gegenden, wo andere Pflanzen unter dem Einfluß gleichmäßiger günstiger Verhältnisse zum Teil das ganze Jahr hindurch grünen, blühen und fruchten, ihr Laub abwerfen und eine, wenn auch kürzere Zeit der Ruhe durchmachen. Eichen, Buchen, Apfel- und Birnbäume halten auch in dem subtropischen Klima von Madeira ihre Ruheperiode bei, die sich aber unter gleichmäßig günstigen Verhältnissen, wie in den Bergen Javas, bei verschiedenen Individuen, ja sogar an den Ästen eines und desselben Baumes, zeitlich derart verschieben kann, daß Eichen, Obst- und Mandelbäume dort zu gleicher Zeit belaubte und blattlose Zweige tragen. Andere Bäume, wie beispielsweise der Pfirsich, sind aber auf Ceylon allmählich zu völlig immergrünen Bäumen geworden. Die Pfirsiche sollen dort auch das ganze Jahr über gleichmäßig neue Blüten und Früchte tragen, während der Kirschbaum, gleich vielen anderen unserer Obstbäume, im tropischen Klima überhaupt nicht mehr blüht. Wenn daneben auch gewisse, dort einheimische Gewächse ebenfalls eine ausgesprochene Periode der Ruhe und des erneuten Austreibens durchmachen, so geht daraus auf das deutlichste hervor, daß Ruheperioden nicht bloß von äußeren Verhältnissen aufgezwungen oder geregelt werden, sondern auch in einem autonom rhythmischen Verlauf der Lebensprozesse ihre Ursache haben können. Es machen auch keineswegs alle unsere einheimischen Gewächse eine winterliche Ruheperiode durch, was man bei vielen unserer Unkräuter in milden Wintern leicht feststellen kann; andere, wie Flechten und Moose, finden gerade an frostfreien Wintertagen ihre besten Vegetationsbedingungen, während sie im Sommer nicht oder nur wenig wachsen. — Etwas Ähnliches liegt bei unseren Frühjahrspflanzen vor, die ja auch nicht während des warmen Sommers den Höhepunkt ihrer Entwicklung erreichen, sondern nach den wetterwendischen Tagen des März und April meist wieder verschwinden und ihre lange Ruhezeit bereits antreten, wenn die Sommerflora erst erwacht.

In denjenigen heißen Landstrichen, in welchen eine regenlose und eine regenreiche Zeit abwechseln, ist die trockene Jahreszeit, wie bei uns die kalte, im allgemeinen die Zeit der Vegetationsruhe.

Die Unterbrechung der Vegetation durch das althergebrachte Abmähen von Wiesen und Feldern hat nach v. Wettstein zu einem Saison-Dimorphismus bei vielen Wiesenpflanzen geführt, indem die im Spätsommer entwickelten Sprößlinge in ihren Eigenschaften von den frühjährlich gebildeten mehr oder weniger abweichen (72).

Die Vegetationsruhe läßt sich durch verfrühte Darbietung günstiger Vegetationsbedingungen mehr oder weniger abkürzen, wobei vorangegangene Einwirkungen von Frost, Trockenheit (Welken) oder, wie Johannsen entdeckte, von Ätherdämpfen u. dgl. die vorbereitenden Schritte erheblich fördern können. Das Erwecken aus dem Ruhestadium gelingt aber nicht jederzeit gleich gut, am besten natürlich in der Zeit kurz vor dem normalen Erwachen der Lebenstätigkeiten, in der Nachruhe, kaum weniger gut aber auch kurz nach eingetretener Hemmung, in der Vorruhe (so daß unter Umständen Kartoffelknollen und Zwiebeln überhaupt nicht zur Vollruhe übergehen), während in der zwischenliegenden Mittelruhe oder Vollruhe die Erweckungsversuche meist ergebnislos verlaufen. Mit diesen Verhältnissen muß die Frühtreiberei ebenso rechnen wie mit dem Umstande, daß die Temperatur-Optima für die einzelnen Entwicklungsvorgänge in der Pflanze verschieden hoch, zum Teil verhältnismäßig recht tief liegen (73).

Die Lebensdauer. Teils von inneren, teils von äußeren Umständen abhängig verläuft die den Entwicklungsgang einer Pflanze von der Keimung

bis zum Absterben umfassende Lebensperiode. Bei niederen pflanzlichen Organismen, Algen, Pilzen und Bakterien, kann sich der ganze Lebenslauf innerhalb weniger Tage, ja sogar weniger Stunden abspielen; bei krautigen höheren Pflanzen ist er oft in wenigen Wochen beendet. Ausdauernde Stauden, sowie Sträucher und Bäume erreichen unter günstigen Umständen aber ein Alter von Tausenden von Jahren.

Bei manchen Pflanzen tritt mit der Ausbildung der Samen ein Abschluß des Entwicklungsganges und eine Erschöpfung ein, welche den Tod aus inneren Ursachen bedingt. Einen solchen organischen Abschluß der Lebensperiode findet man bei vielen einjährigen Sommergewächsen, welche nach KLEBS durch künstliche Verhinderung der Fortpflanzung demgemäß mehrjährig gemacht werden können. Er tritt aber auch bei Pflanzen auf, die sich zwei und mehr Jahre auf die Fruchtbildung vorbereiten. Dies ist der Fall bei unseren zweijährigen Gewächsen, aber auch bei der 10—40jährigen Agave, die nach der Ausbildung ihres stattlichen Fruchtstandes erschöpft zu Grunde geht, oder bei manchen Palmen. Bei Pflanzen dagegen, welche auch während des Blühens und Fruchtens einen Teil der gebildeten organischen Substanz als Reservestoffe ablagern und neben den Fortpflanzungsorganen neue Vegetationspunkte bilden, tritt ein organischer Abschluß des Lebens mit der Samenbildung nicht ein. Solche Pflanzen tragen daher die Möglichkeit einer unbegrenzten Lebensdauer in sich. Die Dauer ihres Fortbestehens wird meist durch äußere Umstände bestimmt. Zerstörung durch Parasiten und andere Feinde, Nahrungsmangel, Windbruch u. dgl. setzen dem Leben dieser Gewächse gewaltsam ein Ziel.

Am besten bekannt oder abgeschätzt ist das Alter von Bäumen, über deren Anpflanzung zum Teil geschichtliche Daten vorliegen, während das Alter anderer Bäume oft Jahrhunderte weit über die geschichtliche Zeit zurückreicht. Die berühmte Linde bei Neuenstadt am Kocher in Württemberg ist annähernd 700 Jahre alt, eine Litauer Linde von 25,7 m Umfang hatte 815 Jahresringe, und ein Taxus in Braburn (Kent) wurde bei 18 m Umfang auf 2880 Jahre geschätzt. Ein Sequoia-Stamm im Berliner Museum hat bei 1316 Jahresringen einen Durchmesser von 4,7 m und man kann danach das Alter jener Stämme ermessen, welche es laut vorliegenden Angaben auf 16 m Durchmesser gebracht haben. Berühmt durch ihr Alter sind ferner eine Adansonia auf den Capverden mit einem Stammdurchmesser von 8—9 m und eine Wassercypresse auf dem Friedhof von S. Maria Tule bei Oaxaca in Mexiko. Sehr alt muß auch der berühmte Drachenbaum auf Orotava gewesen sein, der 1868 durch einen Sturm umgestürzt und dann durch einen Brand zerstört wurde. Aber auch niedere Pflanzen erreichen oft ein hohes Alter; die an der Spitze fortwachsenden Moose der verkalkten Gymnostomumrasen und die Stengel der metertief in das Torfmoor hinabreichenden Sphagnaceen zählen ihr Dasein sicher auch nach vielen Jahrhunderten (74).

Wenn man von dem Alter jener Pflanzenriesen spricht, muß man aber bedenken, daß keineswegs alle Zellen dieser Gewächse so lange lebendig bleiben, sondern daß immer neu entstehende Organe und Gewebe das Leben des ganzen Organismus fortsetzen. Alles, was wir an einer tausendjährigen Eiche von außen lebendig sehen, ist tatsächlich nur wenige Jahre alt; es sind junge Blätter, junge Triebe, junge Rindenteile. Die wirklich alten Teile sind längst abgestorben wie die Borke, oder doch tief im Innern versteckt, wie Mark und Kernholz, oder längst abgestoßen, wie die erste Rinde. Nur die embryonalen Zellen der ursprünglichen Vegetationspunkte sind lebendig geblieben und in stetem Wachstum und steter Vermehrung begriffen, so lange der Baum existiert. Die aus den Vegetationspunkten hervorgegangenen und zu bestimmten Lebensverrichtungen sich ausbildenden somatischen Zellen des Dauergewebes gehen aber alle nach mehr oder minder langer Ausübung ihrer Funktionen zu Grunde.

Die Zellen der Wurzelhaare haben oft nur eine Lebensdauer von wenigen Tagen, auch Drüsenzellen und Trichome der Stengel und Blätter sind oft sehr kurzlebig. Holz- und Bastfasern wie Sklerenchymzellen verlieren schon nach kurzer Zeit ihr lebendiges Plasma und erfüllen ihre eigentlichen Aufgaben in abgestorbenem Zustande. Auch ganze

Organe langlebiger Pflanzen führen teilweise ein recht kurzes Leben, wie zumal die Kelch-, Blüten- und Staubblätter. Die Blätter unserer Laubhölzer leben nur wenige Sommermonate, dann werden sie abgeworfen (S. 122). Die Blätter wintergrüner Pflanzen bleiben zwei oder mehrere Jahre lebendig, werden dann aber auch abgeworfen, was übrigens auch mit kleinen oder größeren Zweigen, besonders von Koniferen, geschehen kann. — Mit am längsten erhalten sich von Dauergewebszellen die der Markstrahlen lebendig; bei manchen Bäumen, z. B. bei der Buche, hat man über 100 Jahre alte lebende Markstrahlzellen gefunden, während freilich die Hauptmasse derselben schon mit dem fünfzigsten Jahre abstirbt.

V.

Die Bewegungserscheinungen.

In jedem lebendigen Organismus finden durch den Stoffwechsel jederzeit lebhafte Bewegungen und Verschiebungen von Substanz statt. Diese Bewegungen entziehen sich aber zum größten Teil, da die bewegten Stoffe meist in molekularer Verteilung wandern, unseren Blicken. Daß sie aber stattfinden, geht mit absoluter Sicherheit aus den örtlichen Stoffanhäufungen und -Verminderungen hervor, die unseren Wägungen und chemischen Nachweisungen zugänglich sind.

Auch eine andere Art der Bewegung, welche gleichfalls unseren Augen verborgen bleibt, spielt bei den Organismen eine hervorragende Rolle, das ist die Wärmebewegung und sind die verwandten, von Licht, Elektrizität usw. hervorgerufenen Schwingungszustände, von welchen die Lebensvorgänge in hohem Grade abhängig sind.

Aber abgesehen von diesen Bewegungen, die sich auch im Innern eines anscheinend ruhenden Körpers abspielen, treten bei Pflanzen auch äußerlich auffallende, zwar zumeist langsam verlaufende, in einzelnen Fällen aber auch sehr rasche Ortsveränderungen auf. Diese werden entweder von ganzen Pflanzen oder von einzelnen Organen ausgeführt. — Auf passive Bewegungen, die durch äußere mechanische Einwirkungen, wie Wasser- und Windströmungen hervorgerufen werden, und die für das Pflanzenleben immerhin eine gewisse Bedeutung haben, soll hier aber nicht näher eingegangen werden; nur die von der Pflanze selbst ausgeführten aktiven Bewegungen sollen hier ins Auge gefaßt werden.

Das Protoplasma selbst ist zu verschiedenen Bewegungsformen befähigt, sowohl in freiem Zustande, ohne Zellmembran, als auch eingeschlossen in einer Membranhülle. Nackte Plasmakörper zeigen fast stets langsame Bewegungen, aber auch behäutete Zellen besitzen das Vermögen der freien Ortsveränderung oft in hohem Grade. Vielzellige höhere und niedere Pflanzen befestigen sich jedoch meist am Orte ihrer Keimung dauernd durch Wurzeln und andere Haftorgane und verzichten damit ein für allemal auf einen Ortswechsel, soweit er nicht durch Bewegungen beim Wachstum ermöglicht ist. Eine solche Ortsveränderung durch Zuwachs kommt aber in besonders auffälliger Weise bei denjenigen Gewächsen zu stande, deren Rhizome oder kletternde Stengel mit der Gipfelknospe in einer Richtung weiter wachsen und deren ältere Teile dabei hinten absterben. Verlängert sich ein Rhizom vorn mit jedem Jahr um ein Stück von durchschnittlich 5 cm, dann wird die Pflanze im Laufe von 20 Jahren um einen Meter von ihrem früheren Standort fortgerückt sein. Wie bereits S. 184 erwähnt, können die Keimlinge von Cus-

cuta auf der Suche nach Nährpflanzen in dieser Weise eine kurze Strecke über den Boden hinkriechen, und ähnlich, wenn auch langsamer, durchwandert eine wachsende Caulerpa (Fig. 280) im Laufe der Jahre ihr Wohngebiet. Außer dieser Bewegung durch Zuwachs besitzen festsitzende Pflanzen aber sehr allgemein noch das Vermögen, die Lage und Richtung ihrer Organe durch Krümmungen und Drehungen zu verändern. Durch solche Krümmungen werden die Pflanzenteile in Stellungen gebracht, die für ihre Funktion notwendig oder vorteilhaft sind; so werden die Stengel nach oben, die Wurzeln nach unten, die Blätter mit der Oberseite nach dem Lichte hin gerichtet; Schlingpflanzen und Ranken umfassen die tragenden Stützen, und der Stengel der jungen Keimpflanze wird so umgebogen, daß er ohne Verletzung der Endknospe das feste Erdreich durchbrechen kann.

Nach diesem Überblick über die im Pflanzenreich auftretenden häufigsten Bewegungsformen seien zunächst eingehender betrachtet die

Bewegungen freier Protoplasten und Einzelzellen.

Die amöboide Bewegung freier Protoplasten ist eine kriechende Bewegung, bei welcher der nackte Plasmakörper der Amöben und Plasmodien einzelne Fortsätze nach einer oder mehreren Seiten austreibt; diesen folgt entweder alsbald der ganze Plasmaleib in fließender Bewegung nach oder sie werden wieder eingezogen (Fig. 215). Die Bewegung erinnert äußerlich an das Fließen eines zähen Flüssigkeitstropfens auf nicht benetzter Unterlage. Die Arbeit der Bewegung wird nach Berthold vornehmlich von Oberflächenspannungen geleistet, welche das reizbare Plasma lokal erhöhen oder herabsetzen kann. (Durch lokale Änderung der Oberflächenspannungen können auch an Tropfen lebloser Substanzen ähnliche amöboide Bewegungen auftreten.)

Fig. 215. Bewegungsform der Amöben. Die Pfeile deuten Richtung und Stärke der Bewegung an, die Kreuzchen die ruhenden Stellen. Augenblicklich erfolgt die Hauptbewegung von *H* nach *V*. Im nächsten Augenblick kann sich der Hauptstrom nach *R* oder *L* wenden und dadurch die Bewegungsrichtung der Amöbe ändern.

Die Cilienbewegung ist eine Schwimmbewegung, bei welcher nicht der ganze Plasmakörper die Bewegung ausführt. Er besitzt vielmehr eigene, nur einen sehr kleinen Teil seiner Masse ausmachende Bewegungsorgane in Gestalt äußerst feiner, oft bei starker Vergrößerung kaum wahrnehmbarer Fädchen. Diese, mit dem Plasma zusammenhängenden „Geißeln“ oder „Cilien“ sind zu 1, 2, 4 oder sehr zahlreich und in verschiedener Anordnung vorhanden (Fig. 96 und 97). Sie bewegen sich sehr energisch und treiben den Plasmaleib oft mit ansehnlicher Geschwindigkeit durch das Wasser fort, meist derart, daß sie ihn zugleich in drehender Bewegung erhalten. (Der Weg der flinksten Schwärmsporen beträgt in der Sekunde das zwei- bis dreifache ihrer Länge, während die schnellsten Schiffe zum Durchfahren der eigenen Länge 10—15 Sekunden brauchen. Bei der Kleinheit der Schwärmsporen beträgt die in einer Stunde durchmessene Strecke aber doch nur höchstens einen Meter.) Die Bewegung der Cilien ist dabei so geregelt, daß sie den Plasmaleib in bestimmter Richtung fortführen; sie kann aber durch Reize so ge-

ändert werden, daß die Bewegungsrichtung in bestimmter Weise sich ändert. Die Cilienbewegung nämlich zeigt sich von den Reizzuständen des Plasmakörpers in der Weise beherrscht, daß die eingeschlagene Richtung und die Schnelligkeit der Bewegung den Bedürfnissen des Plasmakörpers dienstbar gemacht werden.

Schwerkraft und Licht, gewisse in Lösung befindliche Körper, mechanische Hindernisse und Berührungen sind es vornehmlich, welche die Bewegungen frei schwimmender Plasmakörper und Zellen beeinflussen. Die Schwärmsporen der Algen werden hauptsächlich durch das Licht in ihrer Bewegungsrichtung bestimmt. Während sie im Dunkeln nach allen Seiten hin das Wasser durcheilen, bringt einseitiges Licht sofort eine bestimmte Richtung in ihre Bewegungen. Schnurgerade eilen sie demselben entgegen oder sie wenden sich eben so bestimmt von der Lichtquelle ab. Das Abwenden geschieht entweder bei zu starker Beleuchtung oder aus noch unbekannten Umstimmungen ihrer Reizbarkeit oder in einem gewissen Altersstadium. Das Vorteilhafte dieser merkwürdigen sogen. heliotaktischen (phototaktischen) Bewegungen leuchtet aber sofort ein, wenn man an die Rolle der Schwärmsporen im Leben der Algen denkt. Um den jungen festsitzenden Algen, zu denen sie sich entwickeln, die Ernährung zu sichern, müssen sie zunächst das Licht aufsuchen. Ist aber ein Ort mit geeignetem, d. h. nicht zu starkem und nicht zu schwachem Lichte erreicht, dann muß sich der Schwärmer mit seinem Vorderende festsetzen und zu diesem Zwecke sich vom Lichte ab und einem dunklen Gegenstande zuwenden. Andererseits kommen die Schwärmer im völlig dunklen Raum überhaupt nicht zur Ruhe, sondern schwärmen bis zu völliger Erschöpfung weiter; so ist es ausgeschlossen, daß sie an lichtlosen Orten sich festsetzen, wo die aus ihnen entstehende Pflanze nicht assimilieren könnte.

Schwärmer von wasserbewohnenden Pilzen und die durch Geißeln beweglichen Bakterien werden nach Pfeffers Untersuchungen vornehmlich durch die ungleiche Verteilung bestimmter gelöster Stoffe in ihrer Richtung beeinflußt (Chemotaxis). Vornehmlich beruht die Ansammlung von Bakterien nach Rotherts Erfahrungen aber auf dem Unvermögen, die zufällig erreichte optimale Koncentration wieder verlassen zu können, da der Abfall dieser Koncentration Hemmung und Umkehr ihrer Bewegung bedingt (Apobatische Chemotaxis). Durch die Bewegung gewisser Bakterien geben sich u. a. schon die geringsten Spuren freien Sauerstoffs, die auf keinem anderen Wege nachzuweisen wären, zu erkennen, worauf Engelmanns Bakterienmethode beruht. — Je nach ihren augenblicklichen Bedürfnissen und ihrer Reizstimmung bewegen sich die kleinen Organismen nach dem Orte höherer Koncentration hin oder wenden sich von demselben ab; sie besitzen nicht nur eine Empfindung für die Qualität, sondern auch für die Quantität der gelösten Stoffe und ihre osmotische Leistung (Osmotaxis) ([75]).

Bei den Bewegungen der Samenfäden nach den weiblichen Organen übernehmen derartige chemotaktische Bewegungen ebenfalls die Rolle der Leitung. Die Samenfäden der Farne werden in den Hals der Archegonien, wie Pfeffer feststellte, durch Äpfelsäure bezw. äpfelsaure Salze gelockt; die Archegonien der Laubmoose ziehen die Spermatozoiden dagegen mittels Rohrzuckerlösung an. Hierbei sind es oft äußerst geringe Substanzmengen, welche eine kräftige Reizbewegung hervorrufen; so genügt schon eine 0,001prozentige Lösung von Äpfelsäure zur Anlockung der in reinem Wasser ziellos umherschwärmenden Farnspermatozoiden. — Auch die Bewegung der Amöben und Plasmodien wird in ähnlicher Weise von außen beeinflußt. Diese nackten Protoplasten leben nicht nur im Wasser (Amöben), sondern auch in feuchten Substraten (Plasmodien, Amöben), und man hat bei ihnen beobachtet, daß sie die Befähigung haben, feuchtere Stellen aufzusuchen oder sich von diesen zu entfernen (vor der Sporenbildung). Auch von der Strömungsrichtung des Wassers werden sie bei ihren Bewegungen beeinflußt (Rheotaxis). Als Thigmotaxis oder Stereotaxis hat man die seltenere Erscheinung bezeichnet, daß schwärmende Zellen durch mechanische Berührung gereizt und dadurch bestimmt werden, in steter Berührung mit dem umschwärmten Gegenstande zu bleiben. Diese Eigenschaft ist z. B. an Samenfäden der Fucaceen und an Chromatium Weissii, einem Schwefelbakterium, beobachtet worden. — Wenn behäutete Zellen (z. B. die der Sphaerella pluvialis) mittels Cilien frei schwimmen, so entspringen letztere dem Protoplasma und durchsetzen die Membran.

Die Diatomeen und Desmidiaceen zeigen andere Formen der Bewegung.

Die bodenbewohnenden Diatomeen gleiten gewöhnlich in der Richtung ihrer Längsachse hin und her und ändern ihre Bewegungsrichtung durch Schwenkungen und Oscillationen. Aus der Art, wie kleine Körnchen ihrer Umgebung in Bewegung gesetzt werden, hat man schon früher auf unsichtbare, nach außen tretende „Pseudopodien" geschlossen. Es gelang aber erst in der neueren Zeit, derartige plasmatische Bewegungsorgane, welche durch Öffnungen der harten Kieselschale austreten, bei einzelnen Formen sichtbar zu machen. Nach O. MÜLLER wird die Bewegung durch einen, die Raphe durchsetzenden Plasmastrom ausgeführt, der sich unter Umständen mit einer Schleim- oder Gallerthülle umgeben kann. Bei dem sehr verschiedenen Bau der Membranen wird die Bewegungsmechanik bei verschiedenen Arten wohl entsprechende Verschiedenheiten aufweisen. — Die Zellen der Desmidiaceen befestigen sich durch ausgeschiedene Schleimgallerte auf der Unterlage und führen mit Hilfe lokaler Schwankungen in der Gallertabscheidung ihre eigenartigen Bewegungen aus. Die fortgleitenden Bewegungen der fadenförmigen Oscillarien und Spirulinen erfolgen nach CORRENS in einer Gallertscheide, sind aber bezüglich ihrer Mechanik noch so wenig aufgeklärt wie die langsamen Bewegungen der Spirogyren.

Plasmabewegung in behäuteten Zellen.

Führen die mitgeteilten Formen der Bewegung zu einer Ortsveränderung der ganzen Zelle, so findet man das in festsitzenden Pflanzen eingeschlossene Plasma in seiner Weise auch wieder zu Bewegungen innerhalb des Zellraums befähigt. Besonders ausgiebig sind derartige Binnenbewegungen des Plasmas in den nicht cellulären Siphoneen und in ebensolchen Pilzhyphen, in den langgestreckten Internodialzellen der Characeen, in den Haargebilden mancher Pflanzen und den Blattzellen einiger Wassergewächse. Der in lebhafter Strömung befindliche Plasmakörper der Caulerpen bewegt sich an der Außenwand und dem im Innern dieser Alge ausgespannten Fadengerüst wie ein eingeschlossenes Plasmodium.

Bei den Plasmabewegungen innerhalb der Zellräume sind verschiedene Formen zu unterscheiden, nämlich die Circulationsbewegungen und die Rotationsbewegungen, denen man aber noch eine dritte Form, die Orientierungsbewegungen, an die Seite stellen muß.

Bei der Circulationsbewegung strömen einzelne Plasmapartien in verschiedener Richtung als zarte, von der Zellwand bis zum Kern verlaufende Plasmastränge oft dicht nebeneinander her. (Vgl. S. 51 und Fig. 60.)

Bei der Rotationsbewegung ist das ausschließlich wandständige Plasma in gleichsinnigem Umlauf begriffen, wobei der Kern, oft auch die Chlorophyllkörper, mitgeschleppt werden. (Vgl. S. 51.)

Die treibende Kraft dieser Bewegungen, welche auch dann noch andauern können, wenn das Protoplasma durch Plasmolyse (S. 142) sich von der Wand zurückgezogen hat, ist noch nicht bekannt. Man weiß nur, daß ihr Bestehen und ihre Lebhaftigkeit von Faktoren abhängt, welche die Lebensvorgänge im allgemeinen unterhalten und fördern, vor allem also von günstiger Temperatur und bei den Aërobionten auch von der Gegenwart freien Sauerstoffs; wenn nach den Beobachtungen von KÜHNE Nitella, auch bei Ausschluß des Sauerstoffs aus ihrer Umgebung, die Plasmabewegung Tage und Wochen lang zu unterhalten vermag, so ist dies nach RITTER auf die Befähigung der Characeen zu längerem fakultativ anaërobem Gedeihen zurückzuführen. Obligat anaërobe Bakterien verlieren geradezu ihre Beweglichkeit bei Sauerstoffzutritt (S. 195). — Über die Verbreiterung der Plasmabewegungen, welche von CORTI 1772 entdeckt und von TREVIRANUS 1807 wieder aufgefunden wurden, hatte man sich durch das Studium von Schnitten insofern täuschen lassen, als bei Verwundungen und anderen abnormen Verhältnissen Plasmaströmungen auch in Zellen entstehen, wo sie im normalen Zustand nicht beobachtet werden. Das Bestehen der Plasmaströmungen — einerseits ein Ausdruck kräftiger Lebenstätigkeit — kann also auch ein Symptom krankhafter oder doch gereizter Zustände sein [76].

Die Orientierungsbewegungen des Plasmakörpers verlaufen meist so langsam, daß sie nicht unmittelbar, sondern nur aus ihren Leistungen erkannt werden können. Sie werden durch den Wechsel äußerer Einwirkungen (besonders der Beleuchtung) hervorgerufen und bewirken eine bestimmte Lagerung plasmatischer Organe, wie beispielsweise die Orientierung der Chlorophyllkörper gegen das Licht. Beispiele derartiger Bewegungen sind bei einigen Algen, bei der untergetauchten Wasserlinse, bei Farnprothallien und Moosen, aber auch bei höheren Pflanzen zu finden.

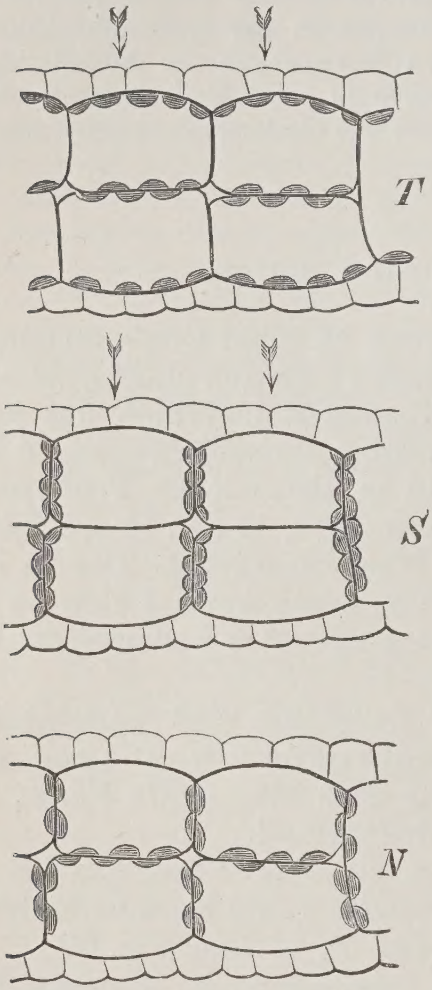


Fig. 216. Wechselnde Stellung der Chlorophyllkörper in den Zellen der untergetauchten Wasserlinse (Lemna trisulca) bei verschiedener Beleuchtung. *T* in diffusem Tageslicht, *S* in direktem Sonnenlicht, *N* des Nachts. Die Pfeile geben die Richtung des einfallenden Lichtes an. (Nach STAHL.)

In den Zellfäden der Alge Mesocarpus findet sich ein einziger platter, in der Längsachse der Zelle ausgespannter Chlorophyllkörper. Diese Chlorophyllplatte wird je nach der Richtung und Stärke des den Faden quer treffenden Lichtes um ihre Längsachse gedreht. Sie wird nach STAHLS Beobachtungen bei gemäßigtem Lichte quer gegen die Lichtquelle gestellt, so daß sie voll beleuchtet ist (Flächenstellung). Bei der Beleuchtung durch direktes Sonnenlicht wird die Platte jedoch so gedreht, daß sie der Lichtquelle die schmale Kante zukehrt (Profilstellung). Was hier durch Drehungen des einen Chlorophyllkörpers bewirkt wird, nämlich der volle Genuß gemäßigten Lichtes und der Schutz vor zu intensiver Lichtwirkung, das wird in Zellen mit zahlreichen Chlorophyllkörperchen durch ihre Verschiebung an verschieden orientierte Wände erreicht. In gemäßigtem Lichte werden die Chlorophyllkörper an denjenigen Wänden verteilt, welche quer die Richtung der Lichtstrahlen schneiden (Fig. 216 *T*); sie gleiten aber alsbald an die den Lichtstrahlen parallel laufenden Seitenwände und werden der Lichtwirkung damit möglichst entzogen, wenn diese anfängt zu stark zu werden (Fig. 216 *S*). Im Finstern oder bei sehr schwachem Licht kann eine dritte, aus der Fig. 216 *N* ersichtliche Art der Gruppierung eintreten, deren Bedeutung noch unbekannt ist.

Die Chlorophyllkörper selbst erfahren bei dem Beleuchtungswechsel mehrfach Formveränderungen; in gemäßigtem Lichte sind sie abgeflacht, in starkem Lichte abgerundet und dicker.

Eine besondere Art des Lichtschutzes ist bei sehr vielen Pflanzen zu beobachten, tritt aber besonders ausgeprägt bei den Siphoneen und Diatomeen auf, indem sich die Chlorophyllkörper in zu intensivem Licht klumpenweise zusammenballen. — Durch alle derartigen Änderungen in der Anordnung der Chlorophyllkörper erscheint natürlich die Farbe grüner Organe in wechselnder Abtönung. In starker Besonnung sehen sie heller, in zerstreutem Licht dunkler grün aus. Dadurch, daß sich der Schatten eines Thermometers auf einem besonnten Blatte dunkelgrün abzeichnete, wurde SACHS auf diese Chlorophyllkörperbewegungen aufmerksam. — Verwundungen, aber auch einseitige Zellwandverdickungen rufen ebenfalls Orientierungsbewegungen hervor, indem sie es veranlassen, daß sich Kerne und Protoplasma einseitig ansammeln.

Eine eigenartige Bewegung des Protoplasmas, die man als flutende bezeichnen könnte, kommt nach ARTHUR in gewissen Pilzmycelien vor. Hier

strömt die ganze Plasmamasse einzelner Hyphen samt den Vakuolen, nur mit Ausnahme der ruhenden Hautschicht, zeitweise nach den Enden der Hyphen hin, um nach längerem oder kürzerem Stillstande, zuweilen mit gleicher Schnelligkeit, den Fluten eines reißenden Stromes vergleichbar, zurückzudrängen (vgl. Fig. 217). TERNETZ beobachtete die gleiche Bewegung in den Mycelien von Ascophanus carneus, wo sich der Plasmastrom samt Vakuolen durch die Löcher der zahlreichen perforierten Querwände durchzwängt, und stellte zugleich fest, daß die Stromrichtung durch lokale Wasserzufuhr bezw. lokalen Wasserverlust bedingt wird (77).

Krümmungsbewegungen.

Die Organe festsitzender Pflanzen, sowohl einzelliger wie mehrzelliger, führen ihre Bewegungen vermittels Krümmungen aus. Ein völlig geradlinig gewachsenes Organ besitzt gleichlange Längskanten; bei einem gekrümmten Organ dagegen besitzen diese Kanten ungleiche Länge, indem an der gekrümmten Strecke die konkave Innenseite notwendig kürzer ist als die konvexe Außenseite. Wenn daher an einem biegungsfähigen geraden Organ die gegenüberliegenden Flanken nachträglich ungleich lang werden, so muß das Organ sich krümmen und zwar nach der kürzeren Flanke hin (vgl. Fig. 171). Die ungleiche Länge der gegenüberliegenden (antagonistischen) Flanken kann aber die Folge verschiedener Vorgänge sein. Bei gleichbleibender Länge einer Seite kann sie sowohl durch Verkürzung als durch Verlängerung der anderen entstehen, sie kann aber auch durch ungleiche Verkürzung oder ungleiche Verlängerung beider Seiten und schließlich durch Verlängerung der einen und Verkürzung der anderen zu stande kommen. Alle diese Vorgänge müssen zu ungleicher Länge der antagonistischen Flanken und demnach zu Krümmungen führen.

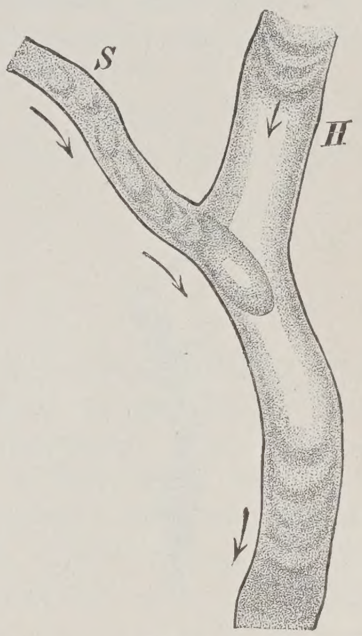


Fig. 217. Flutendes Plasma in den Hyphen von Rhizopus nigricans. (Nach J. C. ARTHUR.)

Am häufigsten treten entsprechende Veränderungen bei Pflanzen infolge ungleichen Wachstums auf. Seltener sind es ungleiche Schwankungen in der Turgordehnung, welche das Längenverhältnis ändern. Eine dritte Veranlassung zu Krümmungen bildet die ungleiche Quellung der Zellwände selbst durch Imbibition und die daher rührende ungleiche Volumveränderung derselben auf gegenüberliegenden Organseiten; eine vierte die Verkürzung gewisser Zellkomplexe, wobei mit schwindendem Füllwasser das Gewebe durch die Kohäsion des verbleibenden Wasserrestes in bestimmter Richtung kontrahiert wird (vgl. S. 221).

I. Imbibitions- und Kohäsionsmechanismen.

Da die Membranen frischer, lebenstätiger Zellen mit Wasser bis zur Sättigung imbibiert sind, so wird man nach Quellungsbewegungen nur bei ausgetrockneten oder aber austrocknenden, meist also bei abgestorbenen Geweben zu suchen haben.

Die Imbibitionsbewegungen sind also rein physikalische Erscheinungen, die mit den Lebensvorgängen nur insoweit zusammenhängen, als die Ausbildung des verschiedenen Imbibitions- und Quellungsvermögens der Membranen eine eigenartige Leistung des membranbildenden Plasmas ist, die sich häufig auch in der sichtbaren anatomischen Struktur, in der Zellenanordnung, im Schichtenverlauf, in Streifung und Tüpfelstellung sowie im optischen Verhalten kundgibt.

Wie bereits hervorgehoben wurde, ist mit der Wasseraufnahme bei der Imbibition stets eine Volumveränderung verbunden; das Imbibitionswasser füllt nicht nur vorhandene Lücken wie in einem porösen Körper aus, sondern treibt auch die Körpersubstanz auseinander und vergrößert das Volumen. Das Verdunsten des Imbibitionswassers führt umgekehrt zur Verkleinerung. Mit jeder Feuchtigkeitsänderung, sowohl im positiven wie im negativen Sinne, werden daher Organe mit verschieden stark oder verschieden rasch quellenden Seiten entsprechende Krümmungen ausführen. Die Organe vieler Pflanzen sind nun auf derartige hygroskopische Bewegungen eigens eingerichtet, welchen oft recht wichtige Verrichtungen, so z. B. das Öffnen der Früchte, das Ausstreuen und Eingraben der Samen zufallen, die aber auch sonst, ohne solche Aufgaben, wie z. B. an abgestorbenen Koniferenzweigen, in die Erscheinung treten.

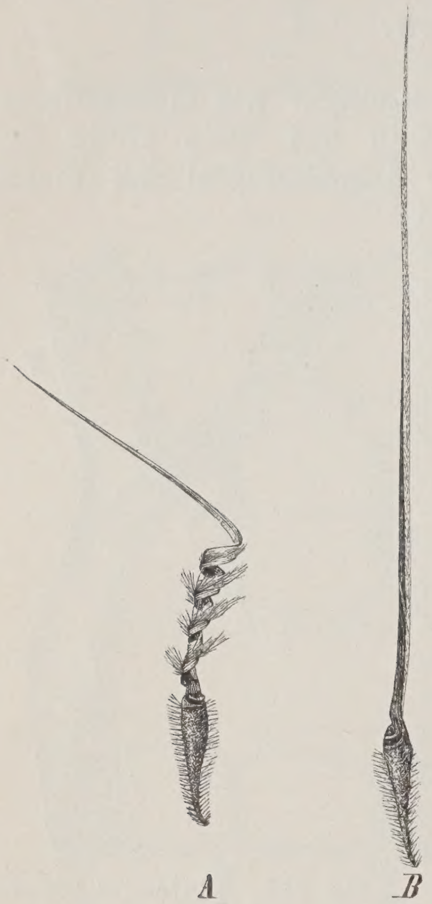


Fig. 218. Teilfrüchtchen von Erodium gruinum. *A* In trockenem Zustande, aufgerollt. *B* In feuchtem Zustande, gerade gestreckt.

Das Aufspringen und Aufreißen reifer Samenbehälter oder das Aufklappen besonderer Öffnungen an denselben (Papaver, Lychnis, Antirrhinum u. a.) ist die Folge ungleicher Kontraktionen beim Austrocknen. Hierbei werden oft Spannungen erzeugt, welche bei plötzlicher Überwindung des Hindernisses die Samen weit fort schleudern (Tricoccae, Geranium u. a.). Einzelne Früchtchen führen beim Wechsel ihres Wassergehaltes nicht nur Krümmungen, sondern auch Torsionen aus, wie besonders die Teilfrüchtchen von Erodium gruinum (Fig. 218), die Früchtchen von Stipa pennata, Avena sterilis. Ihre Bewegungen führen in Verbindung mit starren, rückwärts gerichteten Borsten dazu, den Samen selbsttätig in die Erde zu vergraben.

Wechselnde Feuchtigkeit wirkt auf die Stellung der als Pappushaare bezeichneten Kelchborsten der Cynareen unter den Compositen ein, die bei trockenem Wetter fallschirmartig ausgebreitet, bei nassem nach oben zusammengeschlagen sind. Eine wichtige Rolle fällt den Imbibitionskrümmungen auch bei der Entleerung der Mooskapseln zu; an der Mooskapsel sind es die Zähne des Urnenrandes (Peristoms), welche die Urnenöffnung hygroskopisch verschließen oder öffnen. Bei den Equisetensporen führt die bandförmig abgelöste Außenwand der Sporen selbst (das Perinium) sehr lebhafte hygroskopische Bewegungen aus, welche die Ausbreitung beeinflußt, aber auch immer eine Anzahl von Sporen zu gemeinsamer Keimung der eingeschlechtlichen Prothallien zusammenhält.

Um die Imbibitionsbewegungen hervorzurufen, ist eine Benetzung mit flüssigem Wasser oft nicht notwendig, denn die Membranen kondensieren mit wechselndem Feuchtigkeitsgehalt der Luft verschieden große Mengen Wassers, sie sind hygroskopisch und man hat deshalb ihre Bewegungen auch als hygroskopische Bewegungen

bezeichnet und sie zur Messung der Luftfeuchtigkeit in Hygrometern und „Wetterhäuschen“ benutzt.

Den Imbibitionsmechanismen sind von Steinbrinck und Kamerling die Kohäsionsmechanismen gegenübergestellt worden, die früher fälschlich zu den ersteren gerechnet wurden, sich aber von diesen durchaus unterscheiden dadurch, daß die Zellwände während der Ausführung der Bewegung mit Wasser völlig imbibiert bleiben können. Was hier bei eintretendem Wasserverlust sich verkleinert, ist das Zell-Lumen selbst. Die Kohäsion des Füllwassers, das auf einen immer kleineren Raum sich zusammenzieht, nähert unter Einstülpung dünner Membranen bestimmt orientierte und durch Verdickungsleisten ausgesteifte Zellwände einander blasebalgartig und verursacht dadurch sehr energische einseitige Verkürzungen des Kohäsionsgewebes, welche zur Deformation oder zur Zerreißung geschlossener Gewebekörper führen. Solche Kohäsionsmechanismen werden in der Wandung der Staubbeutel und der Sporangien höherer Kryptogamen ausgebildet und bewirken deren Öffnen. Aber auch die Lebermoos- und Schleimpilz-Elateren, welche durch ihre Austrocknungsbewegungen das Lockern und Ausstreuen der Sporen besorgen, sind, wie der Pappusschirm der meisten und der Hüllkelch einiger Compositen, derartige Kohäsionsmechanismen (78).

Imbibitions- und Kohäsionsmechanismen wirken in anderen Fällen in mannigfachen Abstufungen gemeinschaftlich auf das schließliche Ergebnis hin.

II. Wachstumskrümmungen.

Die Krümmungsbewegungen der Pflanzen kommen zum größten Teil durch ungleichseitiges Wachstum lebendiger Teile zu stande. Dieses ungleiche Wachstum erfolgt teils auf innere Veranlassungen hin, die uns unbekannt sind, teils nach äußeren Einwirkungen, welche man zum Teil nachweisen und abgrenzen kann. Im ersten Falle spricht man von spontanen bezw. autonomen Bewegungen oder „Nutationen“, im zweiten Falle nennt man die Bewegungen paratonische oder Reizbewegungen.

Autonome Wachstumskrümmungen (Nutationen) treten am deutlichsten bei jungen, stark wachsenden Organen auf. Genaue Beobachtungen haben aber ergeben, daß alle wachsenden Pflanzenteile Nutationen ausführen, indem ihre Spitze nicht geradlinig fortwächst, sondern meist unregelmäßige elliptische Kurven beschreibt; diese von Darwin als Circumnutationen bezeichneten Bewegungen sind freilich oft so klein, daß sie der Beobachtung mit freiem Auge völlig entgehen. Bei einzelnen Pflanzenorganen treten aber auch recht auffallende Nutationsbewegungen ein.

So ist die Entfaltung der meisten Laub- und Blütenknospen eine Nutationsbewegung, welche durch stärkeres Wachstum der Innenseite der jugendlichen Blätter erfolgt. Besonders auffällig tritt das bei den vorerst eingerollten Blättern der Farne und mancher Cycadeen hervor. Wie die genannten Blattorgane, so vollführen auch seitenständige Achsen ihre Nutationen bei der Entfaltung, ja bei manchen bleibt zeitlebens eine Neigung bestehen, entweder auf der Oberseite stärker zu wachsen (Epinastie) oder aber auf der Unterseite (Hyponastie). Epinastische Krümmungen werden durch Verunreinigung der Luft mit giftigen Gasen (Leuchtgas in Laboratorien) oft außerordentlich verstärkt, können auch durch das Eigengewicht der Organe ausgelöst werden („Lastkrümmnng“ Wiesners). Der Keimstengel zahlreicher Pflanzen nimmt bei seinem Austritt aus dem Samen häufig eine scharfe Krümmung an, die ihm beim Durchbrechen des Bodens zu statten kommt, und eine ähnliche, mit dem Zuwachs der Triebe nach vorn weiterrückende

Nutationskrümmung ist bei den Sprossen des wilden Weines (Ampelopsis) zu beobachten. Die so entstehenden Haken sind dieser Kletterpflanze beim Auffinden und Festhalten von Stützen förderlich. Besonders auffällig werden die Nutationsbewegungen, wenn das Wachstum nicht eine Seite bevorzugt, sondern abwechselnd verschiedene Seiten vor den andern fördert. Sehr schön läßt sich das z. B. an den Blütenschäften der Küchenzwiebel und an denen der in Gärten häufig kultivierten Liliacee Yucca filamentosa beobachten. Diese zuletzt senkrecht gestellten Schäfte krümmen sich im halb erwachsenen Zustande oft derart, daß der Gipfel den Boden berührt. Eine solche Krümmung ist aber nicht von langer Dauer, der Schaft streckt sich vielmehr wieder gerade, um bald darauf nach einer anderen Seite sich zu beugen. Dünne und langgestreckte Organe müssen auf ein ungleiches Wachstum gegenüberliegender Seiten aus rein mechanischen Gründen ganz besonders rasch reagieren. Die fadendünnen Ranken vieler Kletterpflanzen sind deshalb, so lange sie im Wachsen sind, vorzügliche Objekte zur Beobachtung von Nutationen. Rückt die im Wachstum geförderte Seite in bestimmter Richtung rings um den Stengel herum, so wird der letztere eine gleichsinnige kreisende Bewegung mit seinem Gipfel ausführen (kreisende oder rotierende Nutation). Diese tritt vornehmlich ausgeprägt bei Ranken und den Sprossen von Kletterpflanzen auf und ermöglicht es ihnen, Stützen in ihrem Bereiche sicher aufzufinden. Dagegen ist die sogen. rotierende Nutation der Schlingpflanzen keine autonome Bewegung und wird deshalb erst bei den paratonischen zu betrachten sein.

Paratonische Wachstumskrümmungen. Die paratonischen Bewegungserscheinungen sind für das Leben der Pflanze von der allergrößten Bedeutung, denn durch sie nimmt die Pflanze mit ihren Organen erst diejenige Stellung zu ihrer Umgebung ein, welche ihnen gestattet, in ihrer besonderen Art tätig zu sein. Eine grüne Pflanze, die ihre Wurzeln über der Erdoberfläche ausbreiten und die ihre Blätter unter der Erde entfalten würde, könnte trotz der besten anatomischen Ausbildung aller Teile nicht fortbestehen. Die Samen in der Erde sind aber nicht stets so orientiert, daß alle Teile nur geradewegs fortzuwachsen brauchen, um in die rechte Lebenslage zu gelangen. Auch der Landmann und der Gärtner achten nicht darauf, daß das Wurzelende des Keimlings beim Säen nach unten, das Stammende nach oben zu liegen kommt, sie wissen, daß trotzdem alle Wurzeln abwärts in die Erde wachsen, alle Stengelchen sich über dieselbe erheben werden. Die Pflanze hat also in sich selbst die Fähigkeit, sich den äußeren Lebensbedingungen gegenüber in die vorteilhafteste Lage zu bringen, und das kann nur geschehen, indem die von außen wirkenden Kräfte und Stoffe wie z. B. Licht, Schwerkraft, Feuchtigkeit, Sauerstoffgehalt, in gewissen Fällen auch die Temperatur, das Wachstum so beeinflussen, daß sie der Pflanze dadurch eine ganz bestimmte Wuchsrichtung zur Außenwelt aufnötigen.

Eine und dieselbe äußere Einwirkung veranlaßt bei verschiedenen Pflanzenorganen aber das Aufsuchen ganz verschiedener Stellungen. Unter dem Einfluß der Schwerkraft dringt die Hauptwurzel senkrecht in den Boden ein, die Seitenwurzeln aber mehr oder weniger schräg abwärts. Der Hauptstamm wächst senkrecht empor, er ist wie die Hauptwurzel „orthotrop"; die Seitenäste nehmen dagegen wie die Nebenwurzeln eine geneigte Lage ein, sie sind „plagiotrop". Das Licht veranlaßt das Gipfelende von Sprossen, sich nach der Lichtquelle hinzustrecken, die Blätter dagegen werden veranlaßt, sich mit ihrer Oberseite quer gegen das Licht zu stellen. Diese verschiedenartige Stellungnahme der Organe zur Außenwelt hat SACHS als Anisotropie bezeichnet. Neben dem rein morphologischen Aufbau des Pflanzenkörpers bedingt diese Anisotropie ganz wesentlich seine Gestaltung und äußere Erscheinung([79]).

Daß anisotrope, aber sonst ganz ähnliche Pflanzenteile gegen dieselbe

Einwirkung sich so verschiedenartig verhalten, daß sogar ein und dasselbe Pflanzenorgan in verschiedenen Altersstadien anders reagieren kann, daß weiterhin äußere Kräfte zu Wirkungen führen, die in gar keinem erkennbaren Zusammenhang mit ihren sonstigen physikalischen und chemischen Leistungen stehen — das alles läßt keinen Zweifel darüber bestehen, daß es sich hier nicht um eine physikalisch-mechanische Abhängigkeit von äußeren Kräften handelt. Es liegt hier vielmehr eine Auslösung bestimmter Wachstumsvorgänge durch verschiedenartige äußere Anstöße vor, wie man sie in dieser Wirkungsweise allgemein als Reizwirkung bezeichnet (vgl. S. 4 und 137).

Damit ein äußerer Einfluß eine Reizwirkung hervorbringen kann, muß aber die Pflanze für den Reiz empfänglich sein, d. h. der Reiz muß eine gewisse Veränderung in ihr hervorbringen können, mit welcher wieder eine bestimmte Lebensäußerung irgendwie verknüpft ist. Über die Art der Verkettung zwischen der Einwirkung von außen und der Rückwirkung im Organismus weiß man heute noch nichts. Damit physikalisch einwirkende Kräfte als Reize empfunden werden können, müssen aber in der lebendigen Substanz bestimmte reizempfängliche Einrichtungen bezw. Strukturen vorhanden sein, welche durch erstere beeinflußt werden. So erblicken Haberlandt und Němec in den vom Gewicht beeinflußten Stärkekörnern (u. dergl.) und in ihrem Druck auf verschieden empfindliche Stellen der Hautschicht die Perceptionsvorrichtung für die Richtung der Gravitation (Statolithenhypothese). — Die durch äußere Reize veranlaßten Wachstumsbewegungen sind zum größten Teil Richtungsbewegungen, welche zu einer bestimmten Lage der Organe gegenüber der Richtung der Einwirkung führen. Als äußere Reize kommen vornehmlich in Betracht: Licht (und Elektrizität), Schwerkraft, Wärme, stoffliche Einwirkungen (Sauerstoff, Nährstoffe, Wasser usw.), Stoß und Reibung.

Der Ort der größten Reizempfänglichkeit liegt in Pflanzen oder deren Organen oft mehr oder weniger entfernt von dem Orte der wahrnehmbaren Reizwirkung; es findet eine Fortleitung der Reizung statt. So können Reize von den an sich unbeweglichen Spitzen der Organe aufgenommen und von bewegungsfähigen Teilen, welche selbst nicht direkt vom Reiz getroffen werden, in Bewegung umgesetzt werden. Es wird z. B. bei Wurzeln der geotropische Reiz von der unbeweglichen Wurzelspitze, bei Graskeimlingen von der Spitze der Keimblattscheide aufgenommen und von hier aus den wachsenden Teilen die Bewegung induziert. Wie Miehe fand, können Vegetationspunkte, auch wenn sie nicht die alleinigen Perceptionscentren sind, durch tonische Prävalenz die Reaktion maßgebend beeinflussen (80).

Die Befähigung der Pflanzen, durch Wachstumskrümmungen eine bestimmte Richtung einzunehmen, wird je nach dem wirksamen Reiz als Heliotropismus, Geotropismus, Hydrotropismus usw. bezeichnet. Wenden sich die Pflanzenteile der Reizquelle zu, dann nennt man ihre Richtung positiv; wenden sie sich ab, dann spricht man von negativen Reizbewegungen usw. Als diatropisch werden Pflanzenteile bezeichnet, welche sich mehr oder weniger quer zur Richtung der einwirkenden Kräfte stellen; als besonderen Fall dieser Diatropismen unterscheidet man noch die sehr häufige transversale Stellung: Diese ist senkrecht zur Richtung des einwirkenden Reizes orientiert. Es sind vorzugsweise dorsiventral gebaute Pflanzenorgane, d. h. solche mit verschieden ausgebildeter Rücken- und Bauchseite (S 13), welche sich diatropisch oder geradezu transversal einstellen.

A. Heliotropismus.

Das Licht spielt im Pflanzenleben eine außerordentlich bedeutsame Rolle. Es ist nicht nur für die Ernährung grüner Pflanzen eine Hauptbedingung, sondern wirkt auch auf das Wachstum und auf den Gesundheitszustand

der Pflanzenorgane mächtig ein. Im Lichte ausgebildete Blätter und Blüten ertragen einen längeren Lichtmangel meist sehr schlecht, sie fallen ab; ausgewachsene kräftige, grüne Pflanzenorgane sieht man im Finstern oft rasch vergilben, welken und absterben: Anhaltende Dunkelheit wirkt wie Gift auf diese lichtgewohnten Teile. Gerade das Umgekehrte ist aber der Fall mit Pflanzen oder Organen, die sich normal im Finstern entwickeln; auf sie kann das Licht höchst nachteilig, ja zerstörend wirken, wie man das bei Pilzen und Bakterien (z. B. Typhusbacillen) beobachtet hat. Daher hat das Tageslicht eine große hygienische Bedeutung für Wohnräume. Bei der Zweckmäßigkeit, welche allgemein die Organismen in ihrem Verhalten gegen diejenigen Einwirkungen zeigen, mit welchen sie im natürlichen Verlauf ihrer Entwicklung in wirksame Berührung zu kommen pflegen, kann es also nicht überraschen, daß die Pflanzen zum Teil das Licht aufsuchen, zum Teil dasselbe fliehen.

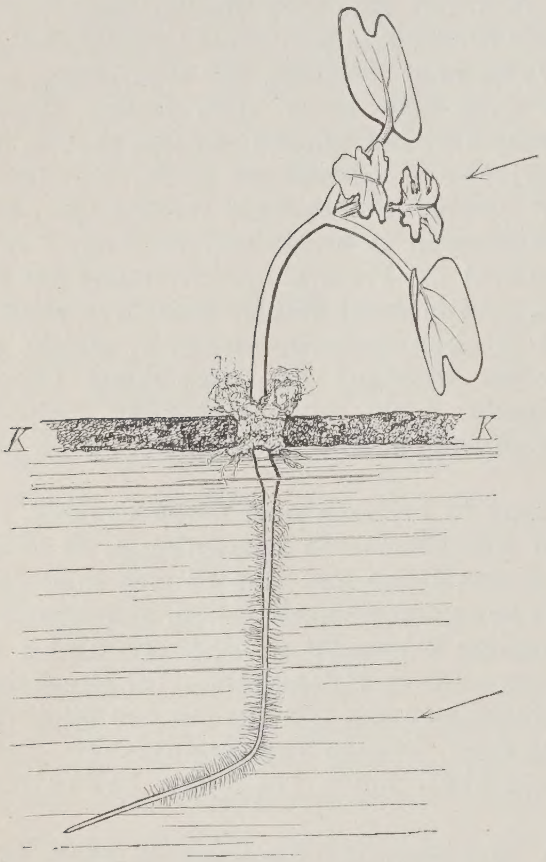


Fig. 219. Keimling des weißen Senfs in Wasserkultur, urspünglich allseitig, dann einseitig beleuchtet. Stengel dem Lichte zugekehrt, die Wurzel abgewendet, die Blattflächen senkrecht im Lichte ausgebreitet. *K K* Korkplatte (Schwimmer).

Zur Beobachtung heliotropischer Erscheinungen bieten im alltäglichen Leben die Blumentische unserer Wohnungen schon eine gute Gelegenheit. Die Stengel aller Pflanzen auf einem solchen Blumentisch wachsen nicht wie im Freien gerade aufrecht, sondern sind dem nächsten Fenster zugeneigt und wie Hilfe suchend sind alle Blattstiele dem Lichte entgegengestreckt. Blattstiele und Stengel sind demnach positiv heliotropisch (lichtwendig). Im Gegensatz zu diesen Organen findet man die Blattflächen senkrecht zu den einfallenden Lichtstrahlen gestellt, um möglichst viel Licht auffangen zu können; die Blattflächen sind diaheliotropisch, im engeren Sinne transversalheliotropisch (lichtauffangend). Befindet sich unter den Pflanzen etwa zufällig das früher so beliebte Chlorophytum mit seinen hängenden Ausläufern, dann kann man an dessen, vom Fenster abgewandten (lichtscheuen) Luftwurzeln, wie auch an Erdwurzeln in Wasserkultur, den negativen Heliotropismus wahrnehmen (Fig. 219).

Zur genaueren Beobachtung der heliotropischen Erscheinungen ist es notwendig, das zerstreute Licht eines Fensters durch eine enger begrenzte Lichtquelle zu ersetzen. Da zeigt sich dann vor allem, daß die Richtung des einfallenden Lichtes maßgebend ist für die heliotropische Stellung: Jede Änderung der Strahlenrichtung hat auch eine Stellungsänderung der heliotropischen Organe zur Folge. Das Gipfelende gewisser positiv heliotropischer Sprosse findet man in die Richtung der Strahlen völlig eingestellt.

Mit welcher Genauigkeit dies bei einzelnen Pflanzen geschieht, zeigt ein Versuch mit dem kleinen Pilze Pilobolus crystallinus. Die Sporangienträger dieses Pilzes kommen

nach kurzer Zeit zahlreich aus feucht gehaltenem Pferde- und Kuhmist hervor; sie sind positiv heliotropisch und richten alle das schwarze Sporangium der Lichtquelle zu. Zur Zeit der Reife wird das Sporenköpfchen mit großer Gewalt geradeaus fortgeschleudert. Hat man nun das Licht nur durch ein kleines verglastes Rundfenster in die heliotropische Versuchskammer einfallen lassen, so findet man die klebrigen Sporangien alle dicht um das Centrum der kleinen Lichtscheibe angeschossen, ein Zeichen, daß die Sporangienträger genau dorthin gerichtet waren (81).

Die positiv heliotropischen Krümmungen der Organe werden dadurch ausgeführt, daß die dem Lichte zugewandte Seite langsamer, die vom Lichte abgewandte Seite dagegen stärker wächst als bei allseitiger Beleuchtung. Das läßt sich nachweisen durch Tuschestriche, die man im Abstand von etwa 1 bis 2 mm auf die entgegengesetzten Flanken, vor der Krümmung, aufgetragen hat. Nach der Krümmung findet man die Striche auf der Schattenseite weit auseinander gerückt, auf der Lichtseite dagegen hat sich ihre Entfernung kaum geändert. Verglichen mit der Verlängerung bei normalem geradlinigem Wachstum sind die Marken der Lichtseite näher zusammen geblieben, die der Schattenseite aber haben sich weiter auseinander geschoben; d. h. das Wachstum wird bei einer positiv heliotropischen Krümmung auf der Lichtseite gehemmt, auf der Schattenseite gefördert. Durch das Auftragen von Tuschemarken läßt sich aber auch feststellen, daß die Krümmung nur auf derjenigen Strecke aufzutreten pflegt, welche während der Biegung noch im Wachsen begriffen ist, und daß der Ort der schärfsten Krümmung im allgemeinen zugleich derjenige des lebhaftesten Wachstums ist (Fig. 219).

Man hat früher geglaubt, das geförderte Wachstum auf der Schattenseite durch beginnendes Etiolement, das gehemmte der Lichtseite durch die retardierende Wirkung erklären zu können, welche das Licht auch auf das geradlinige Wachstum der Stengel ausübt (S. 209). Andere heliotropische Erscheinungen lassen diese Erklärung des Heliotropismus aber entschieden als unzutreffend erkennen. Einzellige glashelle Pilzfäden führen nämlich ebenfalls positive Krümmungen aus und bei diesen Gebilden ist doch von einer verdunkelten Seite keine Rede; im Gegenteil findet man bei mikroskopischer Betrachtung die der Lichtquelle abgewandte Seite der Pilzfäden durch die Strahlenbrechung außergewöhnlich hell beleuchtet. Ganz besonders zeigt aber das Vorkommen negativ heliotropischer Krümmungen, daß es sich beim Heliotropismus um etwas ganz anderes handelt als um einseitiges Etiolement, denn hier ist es ja gerade die vom Licht unmittelbar beschienene Seite, welche stärker wächst als die beschattete, obgleich das Licht das normale geradlinige Wachstum auch dieser negativ heliotropischen Organe verlangsamt (Wurzeln, Rhizomorphen).

Daraus geht hervor, daß die Richtung des die Organe durchsetzenden intensivsten Lichts maßgebend ist für die Ruhelage der heliotropischen Bewegungen. Das Licht wirkt dann als ein Bewegungsreiz, wenn es die Organe in anderer Richtung durchstrahlt als es deren heliotropischer Ruhelage entspricht.

Die heliotropischen Bewegungen werden genau so wie die heliotaktischen Bewegungen frei beweglicher Schwärmer von den blauen und violetten Strahlen am stärksten hervorgerufen, während rotes und gelbes Licht nur eine schwache, oft gar keine heliotropische Wirkung erzielt. Nur dadurch, daß die rot-gelben und die blauvioletten Strahlen im Tageslicht stets zusammengehen, kann daher der Heliotropismus der Blätter ihrer Assimilationstätigkeit voll zu statten kommen. — In kurzen Zeiträumen intermittierendes Licht wirkt, gleichwie auf unser Auge, so auch auf die Pflanzen kräftiger ein als gleichmäßig andauernde Helligkeit.

Heliotropische Eigenschaften sind im Pflanzenreich weit verbreitet; selbst Organe, welche in ihrem Leben für gewöhnlich niemals mit Licht in Berührung kommen, wie die tiefsten Saugwurzeln der Bäume, besitzen oft heliotropische Reizbarkeit. Am häufigsten ist der positive Heliotropismus; er bildet bei den oberirdischen Vegetationsachsen die Regel. Viel seltener ist der negative Heliotropismus, welchen Luftwurzeln,

zumal Kletterwurzeln (Efeu, Ficus stipulata, Begonia scandens u. a.), das hypokotyle Stammglied der keimenden Mistel, viele, aber nicht alle Erdwurzeln (Sinapis, Helianthus), Ranken (zumal die mit Haftscheiben) und die Stengel einzelner Kletterpflanzen besitzen. Die Luftwurzeln und die Haftranken werden als Haftorgane von Kletterpflanzen durch den negativen Heliotropismus der dunklen Unterlage zugeführt und derselben kräftig angepreßt, und ähnlich verhält es sich mit dem Würzelchen der keimenden Mistel.

Negativ heliotropische (lichtabwendige) Krümmungen werden zuweilen nicht in der Region des stärksten Wachstums ausgeführt, sondern an älteren, nur noch langsam wachsenden Stengelteilen. Die Stengel der Kapuzinerkresse beispielsweise führen in der Region der stärksten Streckung positiv heliotropische Krümmungen aus, welche weiter unten am Stengel, bei abnehmendem Wachstum der Zellen, in negativ heliotropische übergehen.

Der Transversal-Heliotropismus ist fast lediglich auf Blätter und blattartige Assimilationsorgane (wie Farnprothallien und den Thallus von Lebermoosen und Algen) beschränkt. Bei diesen Organen überwiegt, seinem Nutzen für die Assimilationstätigkeit entsprechend, der transversale Heliotropismus alle anderen Bewegungsreize. Demgemäß ist es möglich, durch Beleuchtung von unten, etwa mit Hilfe eines Spiegels, die Blattspreiten von Malven und Tropaeolum nach unten umzukehren.

In zu hellem Lichte kann die transversale Stellung der Blattflächen durch andere, den intensiven Lichtstrahlen mehr oder weniger gleichlaufende Lagen ersetzt werden. Indem auf sonnigen, trockenen Standorten unsere einheimische Lactuca Scariola und das nordamerikanische Silphium laciniatum ihre Blattflächen derart dauernd senkrecht stellen, daß sie nur von den Strahlen der im Osten auf- und der im Westen untergehenden Sonne voll getroffen werden, daß aber die heißen Strahlen der Mittagssonne sie nur streifen, nehmen sie nach Stahl notwendig die Richtung Nord-Süd ein und sind so zu den merkwürdigen „Kompaßpflanzen“ geworden. Senkrechte Stellung nehmen auch meist die Phyllodien ein, denen die um 90° gedrehten und dadurch in vertikale Lage gebrachten Blätter mancher Myrtaceen und Proteaceen an die Seite zu stellen sind. (Vgl. S. 169.) (82).

Besonderes Interesse verdient der Umstand, daß auf verschiedenen Entwicklungs- und Altersstufen, wie auch unter dem Einfluß äußerer Einwirkungen, die heliotropische Stimmung und damit die spezifische Ruhelage von Pflanzenorganen verändert werden kann. So sind die Blütenstiele der Linaria Cymbalaria zunächst stark positiv heliotropisch; nach der Bestäubung werden sie aber bei gleichzeitiger starker Verlängerung negativ heliotropisch und führen dadurch die jungen Samenkapseln zur Aussaat in die Mauer- und Gesteinsspalten ihres sonst unwirtlichen, steil abfallenden Standorts ein. Von äußeren Einwirkungen kommt vor allem die Intensität des Lichtes selbst in Betracht, derart, daß sich Pflanzen bei geringer Helligkeit positiv, bei übermäßiger Beleuchtung aber negativ heliotropisch verhalten können. Dazwischen liegt dann natürlich ein neutraler aheliotropischer Übergangszustand. Die von der Lichtintensität abhängige Umstimmung und das damit verbundene Aufsuchen einer optimalen Lichtintensität (vgl. die heliotaktischen Schwärmsporen S. 216), wurde von Oltmanns, der diese Verhältnisse für den Heliotropismus klarlegte, als Photometrie bezeichnet. Zu beachten bleibt aber, daß die Pflanze in ihrer Umstimmung nicht von den absoluten Intensitäten des Lichtes beeinflußt wird, sondern daß es von ihrer eigenen Lichtgewöhnung abhängt, ob eine schwächere oder erst eine stärkere Intensität die Umstimmung hervorbringt (83).

B. Geotropismus.

Daß die Stämme der Bäume und die Stengel der Kräuter aufwärts wachsen, die Wurzeln aber abwärts in den Boden eindringen, ist eine so

allgemeine und zur Erfüllung ihrer Funktionen so notwendige Eigenschaft, daß sie uns fast selbstverständlich erscheint und daß — ähnlich wie bei der Entdeckung der Gravitation vor 200 Jahren — ein besonders geweckter Forschungsgeist dazu gehörte, nach der Ursache dieser gewohnten Erscheinung zu fragen. Die Beobachtung, daß allerorts auf der Erdkugel sich die Stämme in die Lotrichtung einstellen, daß auch im dunklen Schoß der Erde diese Richtung von keimenden Samen und austreibenden Sprossen mit Sicherheit eingeschlagen wird, vor allem aber die merkwürdige Erscheinung, daß ein aus der Lotlinie gewaltsam herausgebrachter Sproß sich so lange energisch krümmt, bis er gerade wieder in der Lotrichtung (also im verlängerten Erdradius) steht, dies alles ließ von vornherein vermuten, daß es sich hierbei wohl um nichts anderes handeln könne als um eine vom Erdkörper selbst ausgehende Richtkraft. Der überall lotrechte freie Fall der Körper ließ aber an die Schwerkraft denken. Es war der englische Forscher Knight, welcher 1809 in genialer Weise den Beweis führte, daß Schwerkraftswirkungen (mit anderen Worten also die Richtung der Massenattraktion) in der Tat die Wachstumsrichtung der Pflanzen beeinflußt. Da Knight es nicht vermochte, die Pflanzen der überall wirkenden Schwerkraft zu entziehen und so den Beweis für deren Einwirkung zu erbringen, so führte er eine andere Massenbeschleunigung, nämlich die der Centrifugalkraft, in die Experimente ein — eine Kraft, die zudem noch den Vorteil bot, daß sie nach Belieben gesteigert oder vermindert werden konnte. Knight benutzte in vertikaler Ebene schnell rotierende Räder, auf denen er die Versuchspflanzen, besonders keimende Samen, in den verschiedensten Lagen befestigte. Der Erfolg seiner Versuche war der, daß sich die sonst aufrecht wachsenden Stengel sämtlich nach dem Mittelpunkt des Rades hin richteten, die Wurzeln aber von diesem abwandten. An den in horizontaler Ebene rotierenden Rädern, wo also Schwerkraft und Centrifugalkraft in ihrer Wirkung kombiniert waren, kamen sie auch in der Richtung der Pflanzenteile, je nach ihrem Anteil, kombiniert zur Geltung. Ohne Zweifel ist es also die Gravitation der Erde, welche die Orientierung der Pflanzenglieder gegen die Erde bewirkt(84).

Es hat sich dann später herausgestellt, daß nicht nur die lotrechte Richtung der Stämme und Hauptwurzeln, sondern auch die schräge oder horizontale Lage der Seitenäste, der primären Seitenwurzeln und der Rhizome vornehmlich durch eigenartige Reaktionen gegen die Schwerkraft mitbestimmt werden.

Die Eigenschaft der Pflanzen, gegen die Gravitationsrichtung eine bestimmte Lage anzunehmen und beizubehalten, bezeichnet man als Geotropismus und spricht auch hier von positivem, negativem, von Diageotropismus und transversalem Geotropismus, je nach der Ruhelage, welche die Pflanzenteile gegenüber dem Erdmittelpunkt einnehmen. Eine weitere Form geotropischer Reizbarkeit, der Lateralgeotropismus, ermöglicht den Schlingpflanzen das Winden.

Negativ geotropisch (erdabwendig) sind alle gerade aufrecht wachsenden Pflanzenteile, seien es Stengel, Stämme, Blätter (von Liliifloren), Blütenschäfte, Blütenteile oder Wurzeln (wie die senkrecht aus dem Schlamm oder der Erde aufsteigenden Atemwurzeln von Avicennien (Fig. 209), Palmen u. a.). Werden derlei Organe aus ihrer aufrechten Lage herausgebracht, dann richten sie sich, so weit sie noch wachstumsfähig sind, wieder auf. Wie beim Heliotropismus erfolgt die Krümmung durch das gesteigerte Wachstum der einen und das verminderte Wachstum der Gegenseite, und der Ort des stärksten Wachtums ist im allgemeinen auch hier derjenige der

schärfsten Krümmung. Bei den negativ geotropischen Organen ist die erdwärts gelegene Flanke die geförderte, die obenliegende die gehemmte; die Folge ist eine Aufrichtung des freien wachsenden Endes. Hat dieses seine senkrechte Stellung wieder gewonnen, dann hört das einseitige Wachstum auf und das Organ wächst geradlinig weiter.

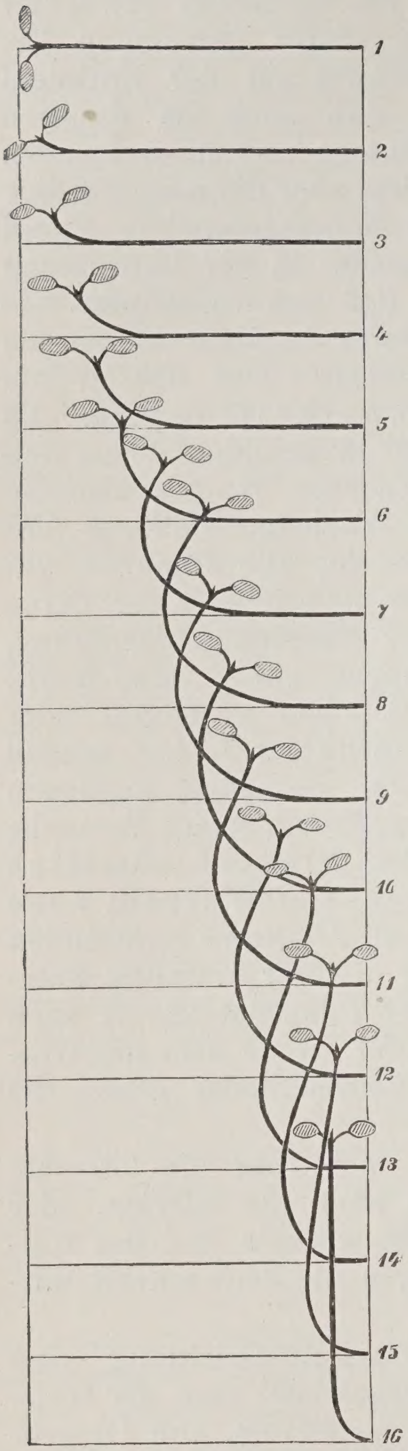


Fig. 220. Verlauf einer geotropischen Bewegung. Die Figuren *1—16* bezeichnen aufeinanderfolgende Stadien der geotropischen Krümmung einer im Halbdunkel erwachsenen Keimpflanze. Dieselbe bei *1* horizontal gelegt, bei *16* wieder völlig aufgerichtet. Für die Zwischenstadien vgl. den Text. Schematisiert.

Der Verlauf einer geotropischen Bewegung ist abhängig: 1) von der Stärke des vorhandenen Wachstums, 2) von der Empfindlichkeit des Organs. Außerdem kommt für denselben noch in Betracht: 3) daß der Reiz der Schwerkraft am kräftigsten einwirkt, wenn der Gipfel des orthotropen Organs etwa um 90° bis 135° von seiner Ruhelage abweicht: Je mehr die krümmungsfähige Zone dieser Lage genähert ist, desto stärker ist der Anstoß zur Bewegung. Dabei ist aber noch zu beachten, 4) daß die Reaktion der Pflanze nicht sogleich mit dem Erlöschen des Reizes aufhört, sondern noch in der Pflanze nachwirkt, so, wie etwa ein augenblicklicher Lichtreiz in unserem Auge noch länger nachempfunden wird.

Aus diesen Punkten zusammen erklärt sich der tatsächliche Verlauf der geotropischen Richtungsbewegung, welche, wie Fig. 220 nebenstehend zeigt, keineswegs in einer einfachen sofort bleibenden Krümmung besteht. Die Nummern 1—16 stellen verschiedene Stadien der geotropischen Aufrichtung einer im Halbdunkel erwachsenen und in No. 1 horizontal gelegten Keimpflanze, etwas schematisiert, dar. Das Wachstum in diesem Keimstengel ist am lebhaftesten dicht hinter den kleinen Keimblättchen und nimmt nach der Basis zu allmählich ab. Dicht hinter den Keimblättern beginnt daher auch die Krümmung und schreitet danach basalwärts vor, bis sie an dem ausgewachsenen untersten Teil des Stengels angekommen ist. Teils durch dieses Fortschreiten der Krümmung nach hinten, teils aber durch Nachwirkung in den Gipfelteilen erfolgt dort ein Überbiegen nach rückwärts über die Vertikale hinaus (Fig. 220 No. 7). Die Folge dieser Überbiegung ist dann dort eine im entgegengesetzten Sinne erfolgende geotropische Krümmung. So biegt sich der Stengel unter dem Einfluß der Reizwirkung hin und her, bis er schließlich auf seiner ganzen wachsenden Strecke gerade aufgerichtet und der einseitigen Reizung entzogen ist.

Positiver Geotropismus wird vornehmlich bei Pfahlwurzeln, bei vielen Luftwurzeln und den bei der Keimung in den Boden eindringenden Blattscheiden mancher Monokotylen beobachtet. Alle diese Organe erreichen die senkrechte Richtung nach abwärts aus jeder anderen Stellung und behalten sie dauernd bei. Die positiv-geotropischen Bewegungen werden ebenso wie die negativ-geotropischen durch aktives Wachstum, das unter Umständen mit der ganzen Gewalt des Turgors sich äußert, ausgeführt, was u. a. durch das Eindringen einer sich abwärts krümmenden Wurzelspitze in das spezifisch viel schwerere Quecksilber und das Überwinden eines, das eigene Gewicht weit übertreffenden Gegendrucks unwiderleglich bewiesen wird. Die positiv-geotropischen Krümmungen kommen dadurch zu stande, daß die vom Erdkörper abgewandte, oben liegende Seite stärker wächst als die der Erde zugewandte, unten liegende Seite. Das geradlinige Wachstum wird

dabei nach den Untersuchungen von SACHS auf der oberen Seite gefördert, auf der unteren noch bedeutender gehemmt. Eine sich um 20 mm geradlinig verlängernde Wurzel der Castanea vesca wies in einem SACHSschen Versuche oben ein Wachstum von 28, auf der Unterseite ein solches von nur 9 mm auf. Fig. 221 wird die Art der Abwärtskrümmung an einer horizontal gelegten und mit Tuschemarken versehenen Wurzel der Feldbohne leicht veranschaulichen.

Diageotropisch sind viele Seitenzweige und Seitenwurzeln erster Ordnung, während Zweige und Wurzeln höherer Ordnung oft nach allen Richtungen von ihrem Mutterorgan abstehen. Diageotropische Organe sind in der Ruhelage, wenn ihre Längsachse einen bestimmten Winkel mit der Lotrichtung bildet. Ein besonderer Fall von Diageotropismus liegt in der zur Gravitation rechtwinkligen (horizontalen) Lage von Organen vor. Es sind besonders Rhizome und Stolonen, welche solchen Transversal-Geotropismus zeigen und welche aus jeder anderen Stellung mit der fortwachsenden Spitze immer wieder in die wagerechte Lage zurückkehren. An der natürlichen schrägen Stellung vieler Organe nehmen oft auch noch andere Komponenten (Epinastie und Hyponastie, andere Richtkräfte, das Eigengewicht usw.) teil.

Eine besondere Art der geotropischen Orientierung tritt bei den dorsiventralen Organen (Laubblättern, zygomorphen Blüten) (S. 12, 13) auf. Alle diese Organe bilden, ebenso wie die radiären diageotropischen, einen bestimmten Winkel mit der Lotlinie, sind aber dabei nur dann auch in der Ruhelage, wenn gleichzeitig die Dorsalseite obenauf, die Ventralseite unten sich befindet, während es bei radiären Organen nicht darauf ankommt, welche Flanke gerade oben liegt, wenn nur die Organachse die richtige Neigung hat. Liegt aber trotz richtiger Neigung der Längsachse die Dorsalseite unten, dann verlängert diese letztere sich so weit, bis sie durch die zunehmende Krümmung wieder obenhin gelangt ist.

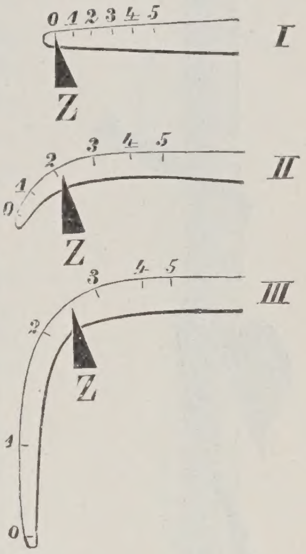


Fig. 221. Geotropische Krümmung einer Wurzel (Keimwurzel von Vicia Faba). *I* Die vorher senkrecht abwärts gewachsene Wurzel wagerecht gelegt und mit Tuschemarken versehen. *II* Dieselbe Wurzel nach 7 Stunden. *III* Dieselbe Wurzel nach 23 Stunden, wieder senkrecht abwärts gerichtet. *Z* ein fester Index. (Nach SACHS.)

Bei der Orientierung dorsiventraler Organe aus abnormen Lagen treten häufig Torsionen auf. Diese entstehen notwendig, wenn die zunächst geotropisch aufgerichteten und dadurch der Mutterachse zugebogenen Organe sich vermöge ihrer Außenwendigkeit (Exotropismus) von dieser wieder nach außen wenden.

Die Drehung der Fruchtknoten vieler Orchideen, der Blüten von Lobeliaceen, der Blattstiele an allen hängenden oder schräg gestellten Zweigen, wie auch die Umdrehung der ursprünglich verkehrt (mit dem Palisadenparenchym nach unten) angelegten Blätter der Alstroemerien und des Allium ursinum sind bekannte Beispiele für regelmäßig auftretende Orientierungstorsionen[85].

Die Schlingpflanzen. Eine ganz eigenartige geotropische Bewegung tritt, neben den schon erwähnten und bekannteren geotropischen Eigenschaften, bei den Schlingpflanzen auf und befähigt diese zum Winden um aufrechte Stützen. Diese Bewegung beruht auf der geotropischen Wachstumsförderung einer seitlichen Kante (nicht der oberen oder der unteren, wie bei positivem und negativem Geotropismus), so daß die geotropische Krümmung infolge dieses Lateralgeotropismus in horizontaler Ebene erfolgt und zur kreisenden Bewegung des Sproßgipfels führt. — Die Schlingpflanzen, welche in den verschiedensten Pflanzenfamilien auftreten, besitzen Sprosse, welche nicht befähigt sind, aus eigener Kraft sich aufrecht zu erhalten, obwohl ihnen der aufrechte Wuchs ein Bedürfnis ist. Die aufrechten Stengel und Stämme anderer Pflanzen, welche sich oft mit Auf-

wand großer Mengen von assimilierter Substanz (Holz, Sklerenchym) zu aufrechtem Wuchs gefestigt haben, werden von den Schlingpflanzen benutzt, um an ihnen die eigenen Assimilationsorgane in freier Luft und in freiem Licht auszubreiten. Die Ausnutzung fremder Assimilationsgerüste, also eines fremden Kapitals von Trockensubstanz und Lebenstätigkeit, haben die Schlingpflanzen mit anderen Kletterpflanzen, wie den Rankenpflanzen und Wurzelkletterern, gemein. Sie erreichen ihr Ziel aber nicht durch die Vermittelung seitlicher Haftorgane, sondern durch schlangenartiges Winden ihrer Hauptachsen an den Stützen hinauf. Die ersten aus dem Samen oder aus unterirdischen Reservestoffbehältern sich entwickelnden Stengelglieder der Schlingpflanzen stehen in der Regel noch aufrecht. Bei weiterem Wachstum krümmt sich das freie Ende aber aktiv seitwärts über und nimmt diageotropisch eine mehr oder weniger schräge oder wagerechte Stellung an. Zugleich aber beginnt der so geneigte Gipfel wie ein Zeiger sich im Kreise zu drehen, entweder linksum oder rechtsum. Das ist die Bewegung, welche man zum Unterschied von den autonom verlaufenden (S. 222) rotierenden „Nutationen“ besser als kreisende Bewegung bezeichnet. Die kreisende Bewegung der Schlingpflanzen kommt aber dadurch zu stande, daß in den jungen übergeneigten Stengelgliedern entweder die linke, oder aber die rechte Flanke im Wachstum geotropisch gefördert wird. Die Folge davon ist eine Bewegung nach der anderen Seite hin; durch den bogenförmigen Zusammenhang des kreisenden Gipfels mit den unteren aufgerichteten Stengelgliedern führt diese Bewegung mechanisch notwendig zu einer gleichsinnigen Drehung des rotierenden Gipfels um seine eigene Längsachse. Diese Achsendrehung ist die Auflösung der mit einer solchen Drehung sonst notwendig verknüpften Torsion (was jeder die Bewegung nachahmende Versuch mit einem Gummischlauch oder Seil sofort klar macht). Der Gipfel schwingt also wie ein Uhrzeiger im Kreise herum und dreht sich gleichzeitig wie die Achse, auf welcher der Uhrzeiger sitzt, um sich selbst. Durch dieses Drehen um sich selbst kommen aber immer neue Seitenkanten in die reizempfängliche Flankenstellung und die einmal begonnene rotierende Bewegung setzt sich damit, ohne eine Ruhelage zu erlangen, fort.

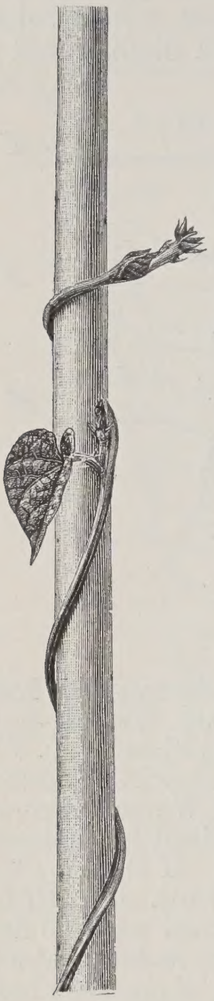


Fig. 222. Der Gipfelteil einer linkswindenden Schlingpflanze (Pharbitis hispida, einer Convolvulacee). Die oberen Blätter lange Zeit klein bleibend.

Ohne den maßgebenden Einfluß der in ihrer Richtung konstanten Gravitation auf den Verlauf der kreisenden Bewegung wäre ein dauerndes gleichsinniges Umwinden der Stützen kaum denkbar. Es hat deshalb seinen guten Grund, daß die kreisende Bewegung eine bestimmt orientierte geotropische und nicht eine autonome Nutationsbewegung ohne bestimmte Wirkungsrichtung ist. Der Lateralgeotropismus ist also eine physiologische Grundbedingung des Windens und das Bestehen der Schlingpflanzen als solcher ist von dieser eigenartigen Form des Geotropismus durchaus abhängig. Diese Abhängigkeit bringt es aber auch mit sich, daß nur aufrechte oder schwach geneigte Stützen umschlungen werden können. Es ist das zwar eine Beschränkung im Winden, aber eine solche, die für die Erreichung freier Luft und freien Lichts der Pflanze nur von Vorteil ist (86).

Wenn irgendwo in dem vom Gipfel der Schlingpflanzen erreichbaren Umkreis sich

eine aufrechte Stütze befindet, dann wird sie durch das Kreisen desselben unfehlbar aufgefunden. Die Gipfelteile, welche durch die, längere Zeit klein bleibenden Blättchen in ihren Bewegungen möglichst wenig gehemmt werden, legen sich durch ihren Lateralgeotropismus der Stütze an. Ist die Stütze dünn, dann schließen die jungen, flach verlaufenden Windungen noch nicht völlig an. Das geschieht erst dadurch, daß in diesen flach verlaufenden Stengelgliedern später negativer Geotropismus auftritt. Dieser sucht die flachen Windungen des Stengels steil aufzurichten und aus ihnen einen geraden, aufrecht stehenden Stengel zu machen, wie das besonders schön bei freien Windungen, wo die Windebewegung ausnahmsweise auch ohne Stütze verläuft, zu sehen ist. Der angestrebten Geradestreckung des Stengels setzt sich aber die Stütze als Hindernis entgegen und so kommt es denn, daß die durch den negativen Geotropismus steiler werdenden Windungen der Stütze fest angepreßt werden und nicht so leicht davon abgleiten. Bei vielen Schlingpflanzen wird der feste Halt durch die Rauheit ihrer Oberflächen (durch Haare, Borsten, Haken, Riefen) und die in den Stengelteilen der Schlingpflanzen häufig auftretenden autonomen Torsionen noch erhöht. — Sowohl das Umwinden wie das Festfassen der Stützen erfolgt bei den Schlingpflanzen demnach durch geotropische Wachstumsvorgänge, nicht wie bei den Ranken durch Berührungsreize. Ihre Art zu winden gestattet den Schlingpflanzen nur das Umschlingen dünner oder mäßig dicker Stützen.

Außer den eben genannten nachträglichen Torsionen tritt eine durch die Aufrichtung der flachen Windungen mechanisch bedingte Torsion notwendig auf, die so weit zu einer bleibenden wird, als sie nicht durch freies Nachgeben der Gipfelteile ausgeglichen werden kann.

Die Richtung, welche die kreisende Bewegung einschlägt, ist bei den meisten Schlingpflanzen konstant und demgemäß ist es auch die Windungsrichtung. Die meisten Schlingpflanzen (Convolvulus, Phaseolus, Pharbitis usw.) sind Linkswinder; von oben besehen, laufen die Windungen von Nord über West, Süd und Ost nach Nord, also umgekehrt wie der Uhrzeiger. Von der Seite gesehen steigen die Windungen an der Stütze von links unten nach rechts oben an (Fig. 222). — Seltener sind die Pflanzen, welche stets rechtsum winden, deren Windungen also von Nord über Ost, Süd, West verlaufen. Die bekanntesten Rechtswinder unserer Heimat sind der Hopfen, das Geisblatt und Polygonum Convolvulus. Als Beispiel ist in Fig. 223 ein Myrsiphyllum gewählt, an dem besonders das Kleinbleiben der Seitenglieder und die starke Streckung der jungen Internodien der Hauptachse auffällt. Sehr wenige Pflanzen winden abwechselnd rechts und links. Dahin gehören Blumenbachia lateritia, Hibbertia dentata und Scyphantus; auch das nur selten und unter besonderen Umständen windende Solanum Dulcamara zeigt eine ähnliche Unbeständigkeit in der Windungsrichtung.

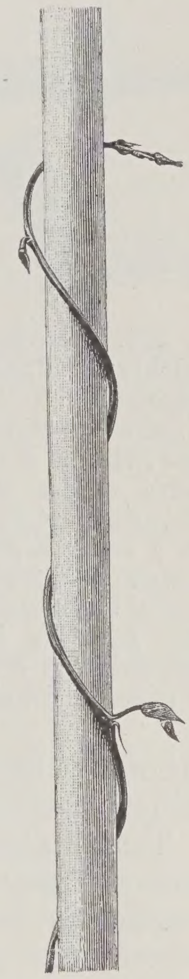


Fig. 223. Der Gipfelteil einer rechtswindenden Schlingpflanze. Junger Trieb von Myrsiphyllum asparagoides. An den kurzen Seitentrieben junge Phyllocladien.

Wenn der Gipfel einer linkswindenden Pflanze nach Norden gerichtet ist, so ist es die östliche Flanke, welche geotropisch gefördert wird; bei einer rechtswindenden Pflanze ist dagegen die westliche Flanke die geförderte. Hieraus läßt sich auch verstehen, daß der Gipfel einer samt der Stütze nach unten gekehrten Schlingpflanze sich von der Stütze abwickeln muß und daß ein an der Spitze invers fixierter Linkswinder zum Rechtswinder werden muß [87]. (Über das Verhalten der Schlingpflanzen am Klinostat vgl. S. 234.)

Das Verhalten der Grasknoten. Alle bislang betrachteten Beispiele geotropischer Bewegungen fanden nur in wachsenden Strecken der Pflanzen statt und kamen durch das in seinem Verlauf einseitig veränderte Wachstum zu stande, gleichgültig ob es einzellige oder mehrzellige Organe waren. Durch einseitig stärkeres Wachstum des Cambiums und der jungen sekundären Gewebe können sich sogar verholzte Zweige

noch krümmen. Selbst mehrjährige Zweige und Stämme, zumal von Koniferen, vermögen so, wenn auch langsame, geotropische Krümmungen auszuführen [88]. Die Knoten der Gräser zeigen andererseits, daß auch ruhende Gewebe durch Schwerkraftreize zum Wachsen angeregt werden können. Die an den Halmen der Gräser sichtbaren Anschwellungen sind, wenigstens bei den meisten Gräsern, keine eigentlichen Knoten im Sinne der Morphologie, sondern tonnenähnliche Verdickungen der Blattscheiden über ihrer Ansatzstelle, also Blattpolster. Der von jenen umschlossene Stengel ist dort äußerst weich und biegsam. Wird ein aufrechter Grashalm horizontal gelegt, was im Freien durch Sturm und Regen nicht selten geschieht, dann beginnt ein kräftiges Wachstum auf der Unterseite dieser Polster, wobei sie häufig noch mehr anschwellen. Da die Oberseite währenddessen kein Wachstum zeigt, sondern oft noch durch Pressung und Wasserverlust verkürzt wird, so werden die Halme, wie das bei gelagertem Getreide zu sehen ist, von den Polstern, wie von Gelenken, rasch wieder aufgerichtet (Fig. 224).

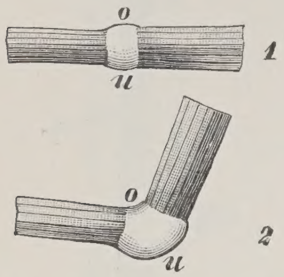


Fig. 224. Geotropische Aufrichtung eines Grasblattpolsters. *1* Der vorher aufrechte Halm horizontal gelegt. *2* Die Unterseite *u* des Polsters stark verlängert, die Oberseite *o* unverlängert (sogar etwas verkürzt). Die dadurch bedingte Krümmung hat das jüngere Halmstück um etwa 75° emporgerichtet.

Cucurbitaceen-Keimlinge. Eine eigenartige Wachstumserscheinung bewirkt die Schwerkraft an der Unterseite des Hypokotyls von Kürbiskeimlingen. Hier entsteht durch ein lokal begrenztes geotropisches Dickenwachstum ein eigenartiger Wulst (Fig. 225 *w*), der bei der Befreiung der Keimblätter aus der derben Samenschale tätig ist.

Wie beim Heliotropismus, so beobachtet man auch durch innere und äußere Einflüsse herbeigeführte Umwandlungen im Geotropismus der Pflanzenorgane. Sehr verbreitet ist, wie Vöchting nachwies, die Änderung der geotropischen Lage während der fortschreitenden Entwicklung von Blüten und Früchten, deren Bewegungen nach Wiesner außerdem durch epinastische Lastkrümmungen (S. 221) beeinflußt werden. Durch geotropische Umstimmung werden auch die Früchte von Trifolium subterraneum und von Arachis hypogaea in die Erde eingegraben. Von äußeren Einwirkungen sind zu nennen Luftabschluß bezw. Sauerstoffmangel, welcher Wurzeln und Rhizome negativ geotropisch machen kann, sodann die Temperatur, welche die Stellung der Haupt- oder Seitenachsen bei manchen Pflanzen beeinflußt. So liegen die Stengel vieler unserer Frühjahrspflanzen bei niederen Temperaturen flach am Boden, um sich bei höheren Temperaturen geotropisch aufzurichten. Lichtwirkungen verändern oder schwächen vornehmlich bei Rhizomen und Laubblättern die geotropische Reizbarkeit, bei letzteren zu Gunsten der Lichtstellung.

C. Hydrotropismus, Caloritropismus und andere Tropismen.

Die Beleuchtung und die Lage zum Erdkörper sind nicht die einzigen Verhältnisse der Außenwelt, welche für die Lebensfunktionen der Pflanzen in Betracht kommen, wohl aber die allgemeinsten. Daher liefern Heliotropismus und Geotropismus auch die verbreitetsten Bewegungserscheinungen. Wo in der Lebensweise von ganzen Pflanzen oder deren Teilen noch andere Kräfte oder Stoffe der Außenwelt eine bedeutsame Rolle spielen, da finden wir aber auch diesen anderen Einwirkungen gegenüber meist eine den Bedürfnissen entsprechende Reizbarkeit ausgebildet. Die Wurzeln werden in trockener Erde nach feuchteren Stellen hin abgelenkt, indem ein einseitiges Mehr von Wasserdampf sie veranlaßt, sich nach diesem hin zu krümmen. Das geschieht so energisch, daß sie aus ihrer geotropischen Ruhelage durch diesen positiven Hydrotropismus erheblich abgelenkt werden können. Umgekehrt fliehen die Sporangienträger vieler Schimmelpilze die Feuchtigkeit und verdanken es diesem negativen Hydrotropismus, daß

sie schnurgerade aus ihrem feuchten Substrat, sei es nach oben, seitwärts oder nach unten, zur Sporenaussaat herauswachsen. Der chemotaktischen Reizbarkeit der Bakterien und Spermatozoiden entsprechend, führen Wurzeln, Pilzfäden und Pollenschläuche positiv oder negativ chemotropische Krümmungen aus, die je nach der Koncentration der Lösung wechseln können, derart, daß ein anlockender Stoff bei höherer Koncentration abstoßend zu wirken vermag. Thermotropismus oder Caloritropismus (auf Wärmereize), Rheotropismus (durch die Strömungsrichtung im Substrat) und der eigentlich zum Chemotropismus gehörige Aërotropismus sind weitere Reizerscheinungen, die man u. a. noch festgestellt hat und die zu gewissen Lebensbedürfnissen in engerer oder weiterer Beziehung stehen (89).

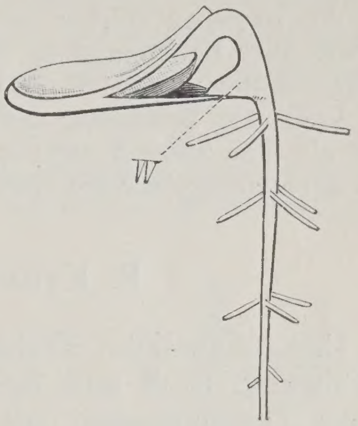


Fig. 225. Ein Kürbiskeimling. Auf der Unterseite des Hypokotyls ist ein Wulst *w* entstanden, der die Samenschale aufreißen hilft.

Bei dem ebenfalls festgestellten Elektrotropismus von Stengeln und Wurzeln ist eine derartige Beziehung aber nicht zu erkennen, da die Einstellung wachsender Pflanzenteile gegen die Richtung elektrischer Ströme bezw. Wellen für ihr Gedeihen kaum je in Betracht kommt; das Bestehen dieser Eigenschaft zeigt vielmehr, daß in der Pflanze auch Reizbarkeiten vorhanden sind, aus denen für gewöhnlich kein Nutzen gezogen wird, die also auch nicht durch natürliche Zuchtwahl erworben sein können.

D. Die Methode der langsamen Drehung. Der Klinostat.

Bei allen den angeführten Wachstumskrümmungen handelt es sich um einseitige Reize, deren Ausgangspunkt sowohl die Richtung der Bewegungen wie auch die Ruhelage bestimmte. Allseitig gleiche Einwirkung kann bei allseitig gleicher Reaktionsfähigkeit der Organe keine Krümmungen veranlassen. Die Krümmung muß daher auch unterbleiben, wenn man die Pflanze selbst gegenüber einseitig wirkenden Reizen gleichmäßig und so rasch dreht, daß es auf keinem Punkte zu einer ausgesprochenen Krümmung kommen kann. Dann ist keine Seitenkante vor der anderen bevorzugt, sie werden alle gleichmäßig gefördert oder gehemmt und der Pflanzenteil bleibt gerade. Für Forschungen und Beobachtungen auf dem Gebiete der Richtungsbewegungen ist die von Sachs eingeführte Untersuchungsmethode der langsamen Drehung deshalb von großer Bedeutung. Sie gestattet, auch bei einseitigem Licht heliotropische Bewegungen auszuschließen, ohne daß man nötig hat, die Pflanze dem nachteiligen Einfluß dauernder Finsternis auszusetzen, oder für die äußerst schwer zu erfüllende Bedingung allseitig gleicher Beleuchtung zu sorgen. Ganz besonderen Wert hat diese Methode aber für die Untersuchung von Schwerkraftswirkungen gewonnen, da man die Schwerkraft nicht wie das Licht, oder wie bestimmte Temperaturen, Sauerstoff usw., beliebig auszuschalten vermag.

Werden Pflanzen an wagerechter Achse langsam gedreht, dann ist die einseitige Schwerkraftswirkung für dieselben aufgehoben, und bei allseitig gleich reagierenden Pflanzenteilen werden damit geotropische Krümmungen ausgeschlossen. Die Drehung der genau wagerecht gestellten Achse geschieht am besten durch ein ruhiggehendes Uhrwerk und ein so gebauter Apparat wird nach Sachs als Klinostat bezeichnet. Daß in der Tat die geotropischen Krümmungen radiärer Pflanzenteile am Klinostat ausbleiben, kann als eine bemerkenswerte Ergänzung der Knightschen Versuche und als ein weiterer Hinweis dafür angesehen werden, daß die Schwerkraft der Erde jene Krümmungen veranlaßt. — Hat man auch die in der Richtung der Klinostatachse wirkenden einseitigen (heliotropischen u. a.) Reize ausgeschlossen, dann führen radiäre Pflanzenteile am Klinostat nur noch autonome, aus inneren Ursachen erfolgende Bewegungen aus, von denen hauptsächlich epinastische und hyponastische Krümmungen (S. 221) sowie der Rückgang etwaiger, kurz vorher paratonisch erfolgter Krümmungen durch Geradestreckung (Autotropismus, Rectipetalität) oder durch Gegenkrümmung in Betracht kommen (90).

Nicht zu verwechseln mit autonomen Krümmungen sind die Bewegungen, welche

dorsiventrale Organe infolge ihrer ungleichseitigen Reizbarkeit bei der intermittierenden Reizung auf dem Klinostaten ausführen müssen. Die eigenartige Reizbarkeit der Dorsalseite bedingt es bei Laubblättern und zygomorphen Blüten, daß diese bei der Drehung stärker geotropisch gefördert wird als die Ventralseite; daraus entstehen aber Krümmungen, die ganz wie epinastische aussehen und in der Tat lange dafür gehalten wurden (91). — Läßt man Schlingpflanzen am Klinostat rotieren, so hört die kreisende Bewegung auf, die noch wachstumsfähigen jüngsten Windungen wickeln sich ab, der Stengel streckt sich infolge seines Autotropismus gerade und vollführt nur noch unregelmäßige Nutationen (92).

E. Krümmungen durch Kontaktreize.

Das pflanzliche Protoplasma ist gleich dem tierischen empfindlich für Berührung, Stoß und Reibung. Das geht aus dem Verhalten freier pflanzlicher Plasmakörper, aber auch aus Erscheinungen an behäuteten Zellen hervor, welche schon durch Einwirkung schwachen Druckes oder durch stärkere Erschütterungen mehr oder weniger geschädigt werden. Diese wohl ganz allgemein verbreitete Empfindlichkeit des pflanzlichen Protoplasmas gegen mechanische Einwirkungen wird von einer Reihe von Pflanzen verwertet, um auf Berührungsreize hin in bestimmter Weise zu reagieren, wobei zur Aufnahme der mechanischen Reize häufig besondere Sinnesorgane ausgebildet sind, die auf eine Deformation des empfindlichen Plasmas abzielen. (Vgl. S. 57 Fig. 69.) Eine große Zahl von Kletterpflanzen führt auf Berührungsreize hin Greifbewegungen aus, um sich an fremden Gegenständen festzuhalten, an dem Gezweig anderer Pflanzen aufzurichten und so die eigenen Assimilations- und Fruktifikationsorgane an fremden Gerüsten auszubreiten.

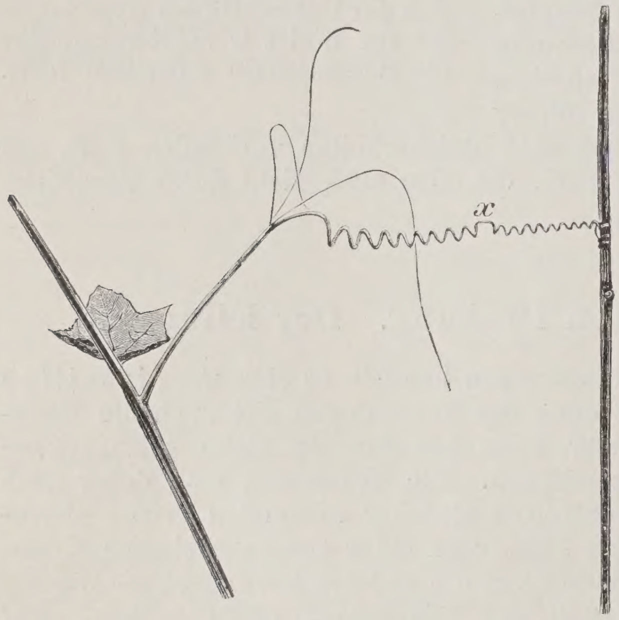


Fig. 226. Stengelstück mit Ranke von Sicyos angulatus, einer Cucurbitacee. Ein Rankenast hat mit seiner Spitze die aufrechte Stütze rechts erfaßt und seine freie Strecke bereits spiralig aufgerollt. Bei x Wendepunkt der Aufrollung.

Es sind Seitenorgane von verschiedenem morphologischem Charakter (vgl. S. 21, 36), welche die Befestigung besorgen, und welche dabei entweder ihrer normalen Leistung und Ausbildung (als Laubblätter, Laubsprosse, Blütensprosse) noch treu geblieben sind, oder aber, wie dies meist der Fall ist, als typische „Ranken“ sich entwickelt haben, um ausschließlich und in vollkommenster Weise der Umklammerung zu dienen. Die einseitige Berührung mit einem festen Körper bewirkt, nach Fitting, alsbald eine starke Wachstumsbeschleunigung der gegenüberliegenden Seite, die, ohne daß die berührte Flanke eine Wachstumsverzögerung erleidet, zur Einkrümmung und Umfassung der Stütze führt. Dies geschieht natürlich um so rascher und leichter, je dünner die Ranke und je kräftiger ihre Reaktion ist. Da die Krümmung nach dem Anlegen der Ranke an die Stütze sich noch zu verengen strebt, so wird die letztere oft derart fest umwickelt, daß an weichen Körpern, wie z. B. an weichen Stengeln oder Gummischläuchen, tiefe Eindrücke entstehen können.

Von großer Wichtigkeit für die Funktion der Ranken ist der Umstand, daß sie nach PFEFFERS Untersuchungen nicht durch jeglichen Anstoß, sondern nur durch die Berührung mit den Unebenheiten eines festen Körpers zum Einkrümmen gereizt werden. Auch der heftigste Regenfall wirkt nicht als Berührungsreiz, und selbst der bis zur Quetschung gesteigerte Anprall reinen Quecksilbers geht ohne Reizwirkung vorüber ([93]).

Bei den vollkommensten Ranken, deren Lebenserscheinungen näher betrachtet werden sollen, bleibt die Krümmung nicht lokal auf den unmittelbar gereizten Teil beschränkt. Ganz abgesehen davon, daß durch das Umwickeln der Stütze immer weitere Stellen der Ranke mit dieser in Berührung kommen und dadurch neu gereizt werden, pflanzt sich die Krümmung auch auf solche Regionen fort, welche keine Berührung erfahren hatten. Dadurch wird die ganze Rankenspitze zunächst einmal rascher um die Stütze gerollt. Später krümmt sich dann auch der übrige, zwischen Stütze und Muttersproß ausgespannte freie Teil der Ranke kräftig ein. Da er aber zwischen zwei festen Punkten liegt, so führt sein Krümmungsbestreben notwendig zu einer spiralfederartigen Aufrollung. Mit der spiraligen Aufrollung ist aber immer eine Torsion verbunden, und da eine solche zwischen festen Endpunkten nicht in einer Richtung möglich ist, so erfolgt aus rein mechanischen Gründen die Aufrollung teils linksum, teils rechtsum. Dazwischen treten Wendepunkte auf, derart, daß gleichviel Windungen rechtsum und linksum sich in der Torsion ausgleichen (s. Fig. 226). Durch diese spiralige Rollung wird der Stengel der Kletterpflanze nicht nur näher an die Stütze herangezogen, sondern auch daran elastisch aufgehängt und vor dem Abreißen durch plötzliche Erschütterung geschützt.

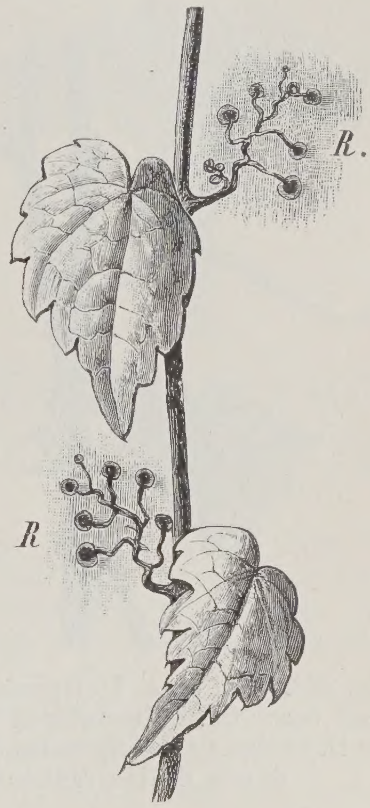


Fig. 227. Stück eines kletternden Sprosses von Ampelopsis Veitchii (Vitis inconstans). Die Ranken *R* sind mit Haftscheiben an einer glatten Wand befestigt.

Auch in der anatomischen Ausbildung der Ranken treten, nachdem sie eine Stütze erfaßt haben, sehr vorteilhafte Veränderungen auf. Die junge Ranke, welche in der Knospenlage meist aufgerollt war, zeigte nach ihrer Streckung lebhafte Nutationen, wodurch die Wahrscheinlichkeit, eine Stütze zu treffen, sehr erhöht wurde. Während dieser ganzen Zeit blieb sie dünn, biegsam und weich, ihre Turgorfestigkeit wurde, zumal nach der Spitze zu, nur von Kollenchym unterstützt. In diesem Zustand war sie leicht zerreißbar und nicht besonders tragfähig. Diese Eigenschaften ändern sich aber bald, nachdem die Ranke gefaßt hat. Dann tritt oft eine erhebliche Verdickung, Verbreiterung und Erhärtung der umklammernden Teile ein, während die Zugfestigkeit des freien Teiles durch Verholzung und Sklerenchymbildung so erhöht wird, daß die Ranke nunmehr, ohne Schaden zu leiden, oft eine Last von mehreren Kilo zu tragen vermag. Diejenigen Ranken dagegen, welche keine Stütze gefunden haben, pflegen zu verkümmern und abzufallen, nachdem sie sich oft von selbst noch eingerollt haben.

Die Ranken mancher Pflanzen sind allseitig reizbar und krümmungsfähig (Cobaea, Cissus), andere (so die Ranken der Cucurbitaceen u. a. mit eingekrümmtem Gipfel) sind nach FITTING zwar allseitig reizbar, krümmen sich aber nur auf eine Berührung der Unterseite ein, während eine gleichzeitige Reizung der Oberflanke in der Hemmung der Einkrümmung zum Ausdruck kommt. Einige Ranken fassen sehr rasch (Passiflora, Sicyos, Bryonia), andere sind sehr träge (Smilax, Vitis).

Ein Vorteil, welchen die Rankenkletterer vor den Schlingpflanzen voraus haben, ist der, daß sie nicht auf nahezu vertikale Stützen angewiesen sind. Die Art der Einrollung

ihrer Ranken weist sie aber auch auf dünne Stützen an, da sie an dickeren abgleiten. Nur vereinzelte Rankenpflanzen haben sich von dünnen Stützen unabhängig gemacht und vermögen mittels besonderer Einrichtungen selbst an glatten Wänden und Mauern emporzuklettern. Ihre Ranken sind lichtabwendig und besitzen an oder dicht unter der Spitze kleine knopfartige Gewebswucherungen, die entweder von vornherein vorhanden sind oder erst durch den Berührungsreiz hervorgerufen werden. Durch ihre Klebrigkeit haften diese Köpfchen zunächst an der Wand und wachsen dann zu saugnapfartigen Scheibchen aus, deren Zellen sich wie Wurzelhaare so eng an das Substrat anschmiegen und damit verbinden, daß man eher die später verholzende Ranke zerreißen, als die Saugscheiben von der Wand ablösen kann. Fig. 227 stellt derartige Ranken dar von Ampelopsis Veitchii (Vitis inconstans). Die Haftscheibchen werden hier schon an den jungen Ranken als Knöpfchen vorgebildet. Bei einer Varietät des wilden Weins (Ampelopsis hederacea) bilden sich die Haftscheiben aber erst nach der Berührung; die Ranken dieser Pflanze vermögen auch dünne Stützen zu umwickeln.

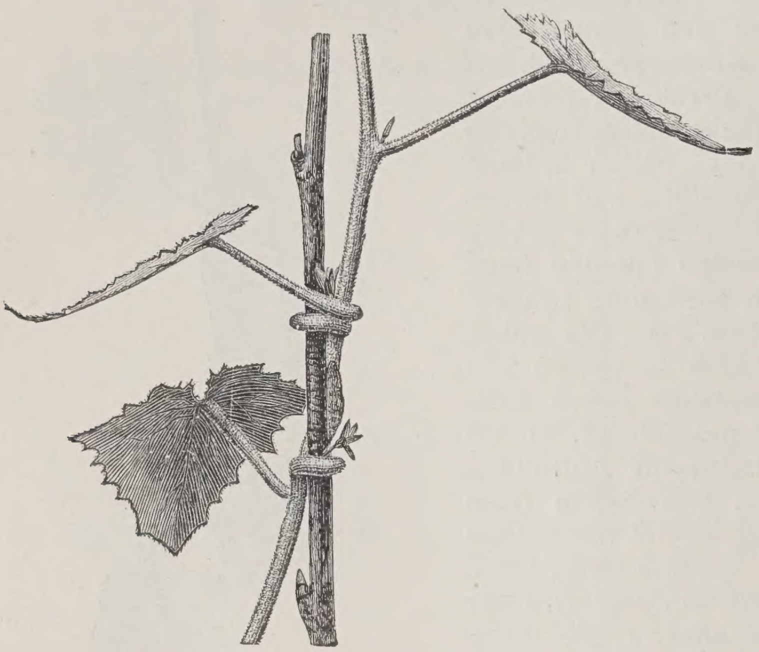


Fig. 228. Teil eines kletternden Stengels von Lophospermum scandens. Die unteren Teile der Blattstiele haben die Befestigung des Sprosses übernommen, indem sie die dünne Stütze rankenartig umklammern.

Die Fig. 228 zeigt ein Stück einer Kletterpflanze (Lophospermum scandens), deren Blattstiele, welche normale Spreiten tragen, gleich Ranken reizbar sind. Wie man sieht, wird hier die Stütze nur etwa einmal oder nur teilweise umfaßt. Ähnlich klettern mittels ihrer Blattstiele die bekannte Kapuzinerkresse und andere Tropaeolum-Arten, Maurandia, Solanum jasminoides, Nepenthes u. a. So weitgehende Folgeerscheinungen, wie sie bei vollkommenen Ranken nach der Befestigung eintreten, machen sich bei diesen Blattstielen aber nicht geltend, obwohl bei Solanum jasminoides der klammernde Teil sich stark verdickt und verhärtet, und bei Clematis u. a. die Blattspreiten eine Zeitlang zur Begünstigung des Rankens sehr klein bleiben und zugleich durch hakenartige Rückwärtsbiegung das vorläufige Festhalten an einer aufgefundenen Stütze begünstigen. Bei Gloriosa, Littonia und Flagellaria sind es die über die Spreite hinaus verlängerten Mittelrippen, welche ranken, und bei manchen Fumaria- und Corydalis-Arten umwickelt außer dem Fiederstielchen auch die Fiederspreite selbst dünne Stützen. Selbst bei niederen Kryptogamen (Florideen) kommen rankende Thallusteile vor. — Die schmarotzenden Sprosse der Cuscuta (Fig. 199) sind zum Winden wie zum Ranken befähigt und machen von beiden Eigenschaften beim Erklimmen und Umklammern ihrer Nährpflanzen abwechselnd Gebrauch (94).

F. Wachstumskrümmungen durch Licht- und Temperaturwechsel.

Laub- und Blumenblätter mancher Pflanzen besitzen die Eigentümlichkeit, daß ihre verschiedenen Seiten (Unter- und Oberseite) schon durch kurz andauernde und geringfügige Licht- und Wärmeänderungen, also durch Erhellung oder Verdunkelung, Abkühlung oder Erwärmung, in ihrem Wachstum ungleich beeinflußt werden. Wenn bei einem solchen Wechsel das Wachs-

tum der Unterseite dasjenige der Oberseite übertrifft, so wird das Blattgebilde sich heben oder gegen die Mutterachse bewegen; das Blatt wird sich dagegen senken und sich von der Achse entfernen, wenn das Wachstum der Oberseite stärker ist als das der Unterseite.

Es sind vornehmlich Blütenblätter, welche derartige Bewegungen ausführen, die Blüten dadurch öffnen und schließen und ihnen auf diese Weise gewisse Vorteile gewähren.

Die Blüten von Nymphaea und die Blütenköpfe von Taraxacum, Leontodon und anderen Compositen, auch die von Cacteen u. a. öffnen sich bei Erhellung und schließen sich bei Verdunkelung (Fig. 229). Die von Adonis, Ornithogalum und Colchicum öffnen sich in der Wärme und schließen sich in der Kälte.

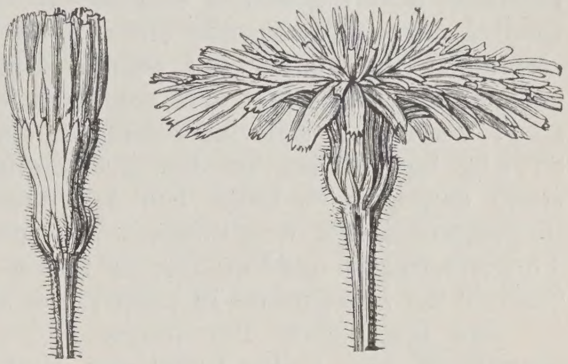


Fig. 229. Blütenköpfchen einer Composite (Leontodon hastilis), links durch Verdunkelung geschlossen, rechts nach Belichtung geöffnet. Aus DETMER, Physiol. Prakt.

Auch die Laubblätter, zumal die von Chenopodiaceen, Caryophyllaceen, Balsaminaceen u. a. werden durch Lichtschwankungen einseitig beeinflußt und führen dadurch sogen. Schlafbewegungen aus.

Viele der angeführten Pflanzenteile werden aber sowohl durch Licht- als auch durch Wärmeschwankungen bewegt; sie öffnen sich z. B. auch bei konstanter Temperatur im Licht und schließen sich im Dunkeln. Die resultierende Bewegung hängt bei widerstreitenden äußeren Einflüssen natürlich von der vorherrschenden Wirkung ab. — Die ungleichsinnige Abhängigkeit von verschiedenen gleichzeitigen Einflüssen hat, zusammen mit Nachwirkungen, das Verständnis für die Reizursachen jener Bewegungen lange Zeit erschwert und verwirrt, zumal da auch die Öffnungsbewegung bei konstant bleibender höherer Temperatur aus inneren Ursachen von einer Schließbewegung abgelöst wird (95).

Die hier geschilderten Bewegungen dürfen mit heliotropischen und thermotropischen nicht verwechselt werden. Bei den letzteren ist die Richtung zur Licht- und Wärmequelle maßgebend und sie erfolgen auch bei gleichmäßiger Stärke der Reizwirkung. Die zuletzt betrachteten Bewegungen gehen dagegen unabhängig von der Richtung der Licht- und Wärmestrahlen von statten und werden durch den Wechsel in der Beleuchtung und Temperatur eingeleitet.

III. Bewegungen durch Turgorschwankungen (Variationsbewegungen).

Wie die bisher betrachteten mannigfaltigen Bewegungen zeigen, sind die im Wachstum zur Geltung kommenden Kräfte und Volumveränderungen in ausgedehntestem Maße den Bewegungsbedürfnissen der Pflanzen dienstbar gemacht worden. Gegenüber der allgemeinen Unbeweglichkeit ausgewachsener Organe ist es aber von Interesse zu sehen, daß manche Pflanzen Mittel und Wege gefunden haben, auch ohne Wachstum noch kraftvolle Bewegungen auszuführen.

Es wurde auf S. 141 gezeigt, daß der Turgordruck die elastische Zellmembran oft weit ausdehnt, indem er den Zellraum bedeutend vergrößert, daß sich dagegen die Membran elastisch zusammenzieht und die Zelle sich verkleinert, wenn der Turgor nachläßt oder ganz aufgehoben wird (vgl. Fig. 170). Solche, durch wechselnden Turgor verursachten Volumveränderungen können auch von ausgewachsenen lebendigen Organen noch als Bewegungsmittel benutzt werden.

Es sind ausschließlich Blattorgane (Laub- und Blütenblätter, aber auch Staubblätter, Griffel, Narbenlappen der Fruchtblätter), von denen man derartige sogen. Variationsbewegungen kennt. Unter den Laubblättern zeichnen sich darin besonders aus die zusammengesetzten Blätter der Leguminosen und Oxalideen, wie auch die Blättchen von Marsilia (einem Wasserfarn). Bei diesen Blättern sind besondere Gewebeteile nicht nur physiologisch, sondern auch anatomisch für diese Art der Bewegung eigens eingerichtet.

Äußerlich erscheinen diese als feste cylindrische Polster, die sich von dem übrigen Blattstiel scharf absetzen und die zu bewegenden Blattteile unmittelbar tragen. Anatomisch betrachtet besteht ein solches Polster der Hauptsache nach aus stark turgescierendem Parenchym mit sehr elastischen Zellwänden. Die Gefäßbündel, welche im übrigen Blattstiel nebst dem sonstigen steifenden Skelettgewebe im Umkreis angeordnet sind, vereinigen sich im Polster zu einem einzigen centralen leicht biegsamen Strang und stellen so den Krümmungen des Polsters keinen nennenswerten Widerstand entgegen (S. 145). Die Anordnung der an sich festen Elemente ist für die Biegungsfestigkeit des Polsters also die denkbar ungünstigste; um so mehr muß die Turgorfestigkeit des Parenchyms und muß die Gewebespannung dazu beitragen, um das Gewicht der Blattspreite in jeder Lage, auch bei Wind und Regen, festhalten zu können.

Das turgescente Parenchym bildet denn auch eine mächtige Hüllschicht, welche gegenüber dem axilen Leitstrang stark gespannt ist, deren innere und äußere Teile aber auch unter sich sehr kräftige Gewebespannung aufweisen. Die dadurch erreichte hohe Festigkeit kann aber, im Gegensatz zu der durch Skelettzellen erlangten, jederzeit mittels Turgorwechsel verändert werden. Wenn in dem gerade gestreckten Polster der Turgor die Zellen auf der einen Seite stärker dehnt als auf der gegenüberliegenden, dann muß eine Krümmung erfolgen, welche die Blattspreite so bewegt, wie das Handgelenk die flache Hand.

Die durch solche Turgorschwankungen entstehenden Variationsbewegungen vollziehen sich entweder autonom (spontan) ohne erkennbare äußere Veranlassung, oder werden als paratonische durch äußere Reize in bestimmter Weise geregelt.

Autonome Variationsbewegungen treten besonders auffallend bei den kleinen seitlichen Fiederblättchen von Desmodium (Hedysarum) gyrans, einer Papilionacee der feuchten Gangesniederung, auf. In feuchter, warmer Luft (bei 22—25°) bewegen sich diese Blättchen oft ruckweise, dann wieder gleichmäßiger, gleich zwei schwingenden Armen kreisend durch die Luft, wobei in 1—3 Minuten ein Umlauf vollendet werden kann. Durch Lichtschwankungen wird diese Bewegung nicht gestört. Anders ist es bei den autonomen Variationsbewegungen der Blättchen des Klees (Trifolium) und des Sauerklees (Oxalis); diese finden nur im Finstern statt. Das Endblättchen von Trifolium pratense führt im Dunkeln seine 2—4 stündlich sich wiederholenden Schwingungen aus, die oft über 120 Bogengrade betragen, die aber von einwirkendem Lichte zu Gunsten einer festen Lichtstellung aufgehoben werden.

Paratonische Variationsbewegungen werden vornehmlich durch Lichtreize, durch Schwerkraftreize und durch mechanische Reize (Erschütterung, Reibung), seltener durch Temperaturschwankungen ausgelöst. Die Gelenkpolster können dabei gegen verschiedene Einflüsse reizbar sein; so werden beispielsweise die Blätter der Mimosa pudica sowohl durch Licht- als durch Stoßreize (unter Umständen auch durch Schwerkraftreize) in Bewegung gesetzt; außerdem führen sie aber auch noch autonome Bewegungen aus.

Ein Wechsel von Licht und Dunkelheit, also für gewöhnlich der von Tag und Nacht, veranlaßt sogen. Schlafbewegungen oder nyktitropische Bewegungen. Die Tages- oder Lichtstellung ist diejenige der diahelio-

tropischen Laubblätter: Die Spreite ist senkrecht zu den einfallenden Strahlen ausgebreitet. Tritt Verdunkelung ein, so legen sich die Blätter oder die einzelnen Fiederblättchen nach unten oder nach oben zusammen. Darauf folgende Belichtung läßt alsdann die Tagesstellung wiederkehren. Die Turgoränderungen erfolgen dabei in den antagonistischen Gelenkhälften in entgegengesetztem Sinne; einer Erhöhung des Turgors in der unteren Gelenkhälfte entspricht also eine Herabsetzung desselben in der oberen, und umgekehrt(96).

Bei den Marantaceen, die durch ganz eigenartig gebaute Blattpolster ausgezeichnet sind, soll sich dagegen nach Dębski die konkav werdende Seite durch Deformation der Zellen infolge von Turgorsteigerung verkürzen (vgl. Wurzelrinden S. 262).

Da auch in tropischen Klimaten, wo keine schädigenden Abkühlungen eintreten, die Pflanzen Schlafbewegungen ausführen, so kann der von Darwin vermutete Vorteil der Nachtstellung, die Blätter gegen zu große Abkühlung zu schützen, nicht in allen Fällen ausschlaggebend sein; Stahl sucht ihn denn auch in der verminderten Taubildung und der dadurch gewährleisteten höheren Transpiration des nicht benetzten Blattes. Von bekannteren Pflanzen, welche Schlafbewegungen zeigen, sind zu nennen: Phaseolus, Trifolium, Robinia, Acacia lophantha, Amicia zygomeris (Fig. 230), Mimosa pudica; weniger auffallend sind die Bewegungen bei vielen anderen Pflanzen.

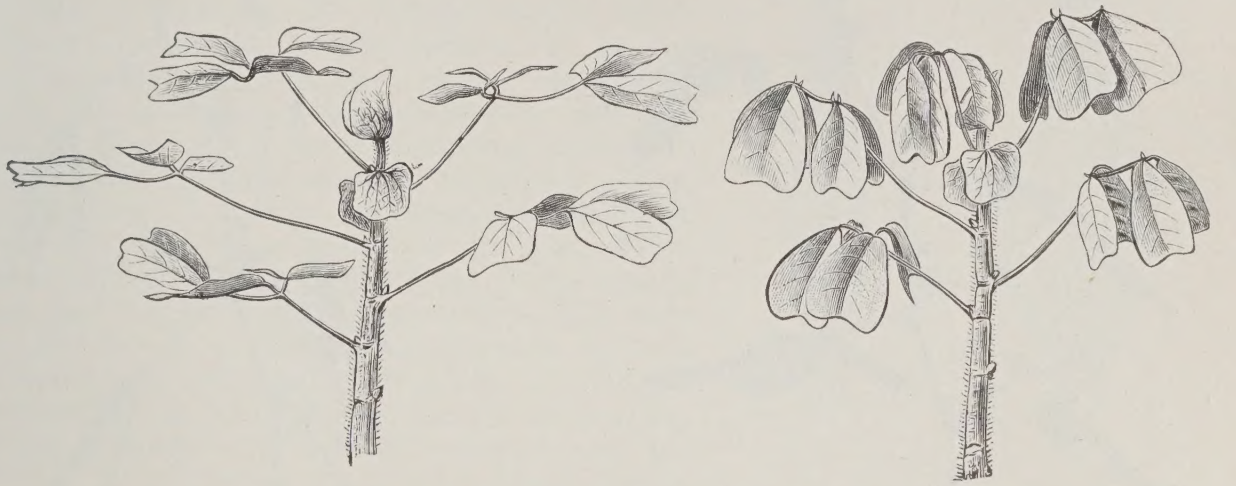


Fig. 230. Schlafbewegung der Blätter von Amicia zygomeris. Links in zerstreutem hellem Tageslicht mit ausgebreiteten Blättchen, rechts nach Verdunkelung in Schlafstellung.

Sehr helle Beleuchtung verursacht häufig ein Verlassen der Tagesstellung zur Nachtstellung hin oder nach der entgegengesetzten Richtung. Die Fiederblättchen der Robinie (Robinia Pseudacacia) sind nachts abwärts geschlagen, im zerstreuten Tageslicht flach ausgebreitet, in der heißen Mittagssonne dagegen richten sie sich steil aufwärts. — Manche Pflanzen vollführen ihre Schlafbewegungen merkwürdigerweise erst mit Hilfe geotropischer Variationsbewegungen, indem Lichtschwankungen den Geotropismus der Gelenkpolster verändern (Phaseolus, Lupinus)(97).

Der Wechsel von Tag- und Nachtstellung findet eine Zeitlang sowohl in konstanter Finsternis wie auch in andauernder Beleuchtung statt. Die Blätter tragen demnach in sich die Neigung, von Zeit zu Zeit aus dem einen in den anderen Zustand überzugehen (S. 237). Ihre Tagesperiode entsteht dadurch, daß die periodischen Lichtreize bestimmend für den Zeitpunkt dieser Änderung sind (ähnlich wie bei unserem Schlaf und Schlafbedürfnis). Hört der äußere Wechsel auf, dann bedingt die innere Disposition noch mehr oder weniger lang eine sichtbare Nachwirkung (S. 211), bis mit den abnormen Verhältnissen abnorme Starrezustände (Licht-, Dunkelstarre) und Krankheitserscheinungen sich einstellen(98).

Äußerst empfindlich gegen Temperaturschwankungen erweisen sich die Blüten der Tulpe und des Crocus, die sich bei Erwärmung öffnen und

sich bei Abkühlung schließen. Geschlossene Tulpen- und Crocusblüten, welche man bei kühlem Wetter aus dem Freien ins warme Zimmer holt, öffnen sich hier zusehends in kurzer Zeit, bei der Temperaturdifferenz von 15—20° C. schon in zwei bis vier Minuten. Empfindliche Blüten von Crocus reagieren schon auf die Schwankung von $1/2$° C.; die der Tulpe auf 2—3° C. Warmer Sonnenschein öffnet diese Frühlings- und Herbstblüten dem Insektenbesuch; bei eintretender Kälte werden dagegen die Sexualorgane umhüllt und geschützt. Nach übereinstimmenden Angaben von Burgerstein und von Farmer werden die Bewegungen durch entsprechende Turgorschwankungen in dem Gewebe am Grunde der Perigonblätter bewirkt (99).

Auf mechanische Einwirkungen (Erschütterung, Reibung, Verletzung) antworten nur vereinzelte Pflanzen mit ausgesprochenen Variationsbewegungen. Es sind das diejenigen, welche man früher allein als „reizbare Pflanzen“ anstaunte, so lange man für das Pflanzenreich nur

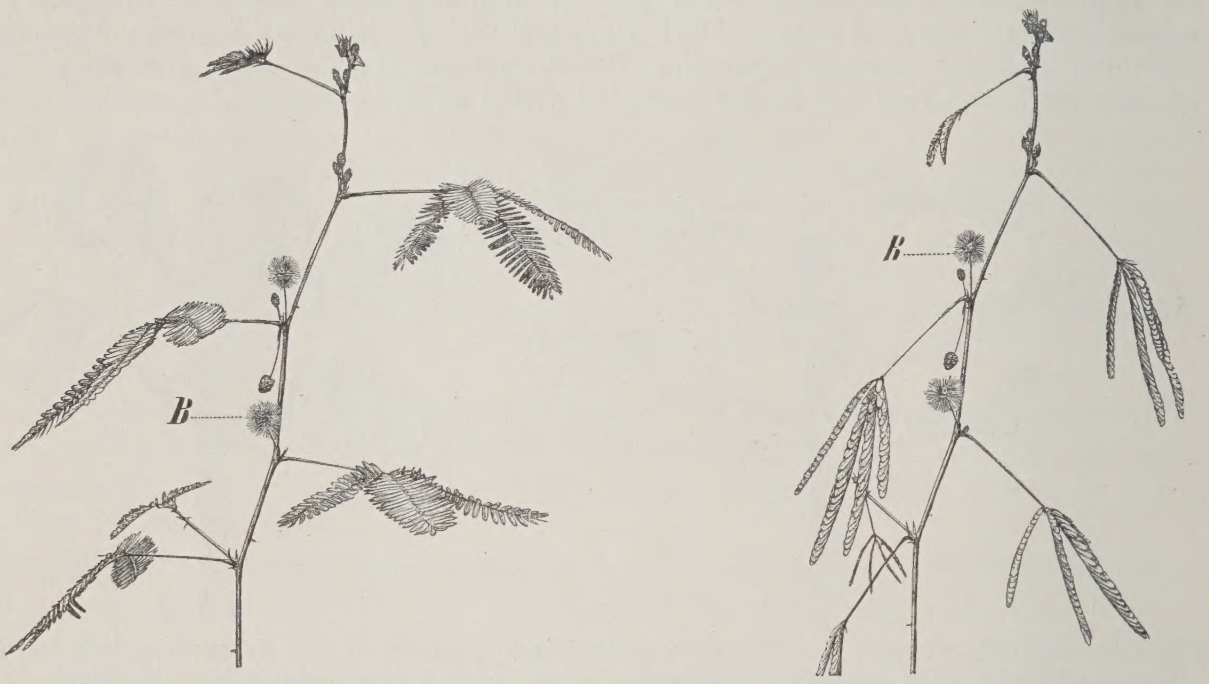


Fig. 231. Mimosa pudica. Links ungereizt in der Tagesstellung, rechts durch Erschütterung gereizt, wodurch sich die Blätter zusammengefaltet und abwärts geschlagen haben. *B* Blütenköpfchen.

mechanische Einwirkungen als Reize und rasche Bewegungen als Reizwirkungen gelten ließ. (Über Sinnesorgane für mechanische Reize vgl. S. 57 und S. 234.)

Erwähnt wurde schon (S. 191) die Dionaea muscipula, deren Blatthälften nach der Berührung, zumal der „Borsten“ auf der Innenseite, rasch zusammenklappen. Das bekannteste Beispiel für eine derartige Reizbarkeit ist aber die Mimosa pudica, eine tropische Leguminose vom Wuchse eines Halbstrauchs, welche ihrer hohen Empfindlichkeit gegen Berührung den Namen Sinnpflanze verdankt. Die zarten Blätter dieser Pflanze sind gefingert-gefiedert (Fig. 231). Die Sekundärstiele, an denen links und rechts dicht gedrängt die Fiederblättchen stehen, sitzen dem Hauptblattstiel wie vier Finger auf. Alle diese Glieder des Blattes sind untereinander mit Gelenkpolstern verbunden, der Hauptblattstiel mit der Mutterachse, die fingerartig ausgebreiteten Sekundärstiele mit dem Blattstiel und die Fiederblättchen mit den Sekundärstielen, so daß alle Teile auf ihrer Unterlage beweglich sind und ein sehr verändertes Aussehen des ganzen Blattes bewirken können. Die Lichtlage der ungereizten Blätter ist in der Fig. 231 links dargestellt. Der Blattstiel ist meist schräg nach oben gerichtet, die Sekundärstiele sind gespreizt und die Fiederblättchen nahezu in einer Ebene ausgebreitet. Wird das Blatt erschüttert, dann

führen alle seine Teile bei günstiger Temperatur (25—30° C.) und Feuchtigkeit sehr rasche Bewegungen aus. Die Fiederblättchen klappen nach oben und vorn zusammen, die Sekundärstiele legen sich seitlich aneinander und der Blattstiel senkt sich scharf nach unten, wie das alles in Fig. 231 rechts dargestellt ist. Die Pflanze, deren sämtliche Blätter so niedergesenkt sind, erholt sich aber bald wieder und nimmt ihre frühere Blattstellung wieder an, wenn ihr Ruhe gelassen wird.

Noch merkwürdiger ist das Verhalten der Blätter, wenn nicht das ganze Blatt oder die ganze Pflanze, sondern nur die Endfiederchen eines Sekundärstiels gereizt werden. Am besten geschieht dies ohne Erschütterung durch Versengen mittels eines Streichholzes. Augenblicklich klappen dann die versengten Blättchen nach oben, ihnen aber folgen nun der Reihe nach sämtliche Fiederpaare bis zum Fingeransatz. Von hier überträgt sich die Reizerscheinung auf die anderen Finger, an denen jetzt die Blättchen in umgekehrter Reihenfolge, also von innen nach außen fortschreitend, zusammenschlagen. Haben sich auch die Finger seitlich aneinander gelegt und wähnt der Beobachter den Bewegungsvorgang abgeschlossen, dann überrascht ihn plötzlich noch einmal der Hauptstiel durch rasche Abwärtsbeugung. Von diesem einen Blatte aus kann sich der Reiz auch im Stengel, oft bis zu 50 cm weit, fortpflanzen und auf andere Blätter übertragen.

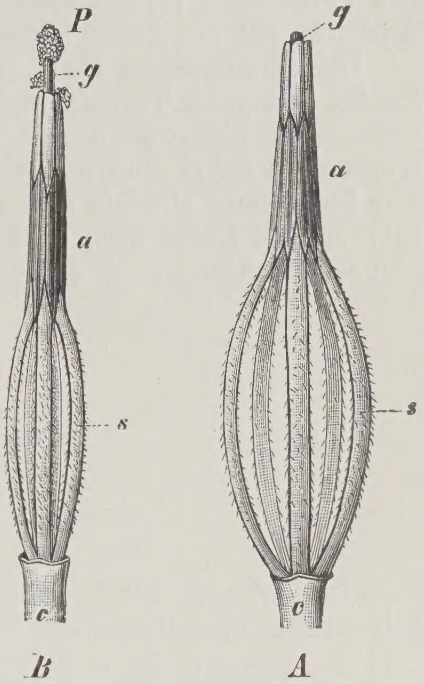


Fig. 232. Staubblätter der Centaurea jacea, durch Entfernen der Kronröhre freigelegt. *A* (rechts) im reizempfänglichen, *B* (links) im kontrahierten Zustande. *c* Unterer Teil der Kronröhre, *s* Staubfäden, *a* Antherenröhre, *g* Griffel, *P* Pollen. Vergrößert. Frei nach PFEFFER.

Die Bewegungen der Polster werden durch Turgorschwankungen bewirkt, welche, wie bei den nyktitropischen Bewegungen, in den antagonistischen Gelenkhälften in entgegengesetztem Sinne erfolgen. Man hat bei der Reizwirkung beobachtet, daß aus den Zellen der allein für mechanische Reize empfänglichen Unterseite des Hauptstielpolsters ein plötzlicher Austritt von Wasser in die Intercellularräume erfolgt. Die Fortleitung des Reizes scheint nach den Untersuchungen HABERLANDTS aber nicht von der Bewegung dieses ausgestoßenen Wassers, sondern vom Inhalte schleimführender, im Siebteil verlaufender Zellschläuche vermittelt zu werden. Mittels hydrostatischer Druckdifferenzen konnte MAC DOUGAL die Auslösung der Reizbewegungen jedoch nicht künstlich hervorrufen. — Der Stellung eines erschütterten Blattes äußerlich ähnlich ist seine Schlaf- oder Nachtstellung, doch sind die Spannungszustände, die zu den beiderlei Stellungen führen, in dem Gelenkpolster verschieden.

Robinia, Oxalis acetosella und die Oxalidee Biophytum führen auf kräftige mechanische Reize hin gleichfalls, wenn auch nur unbedeutendere, Bewegungen aus.

Die gegen äußere Einflüsse so sehr empfindliche Mimose bietet das beste Objekt, um die merkwürdigen **Starrezustände** der Bewegungsorgane kennen zu lernen. Es wurde bereits erwähnt, daß die Reizbewegungen der Mimose nur bei genügend hoher Temperatur lebhaft eintreten; unter einem gewissen Wärmegrad findet überhaupt keine Bewegung mehr statt, es ist dann **Kältestarre** eingetreten. Aber auch andere ungünstige Verhältnisse können veranlassen, daß keine Bewegung mehr auf Reize hin erfolgt. So tritt bei etwa 40° Lufttemperatur **Wärmestarre**, bei Wassermangel noch vor dem Welken **Trockenstarre**, bei längerem Aufenthalt im Finstern **Dunkelstarre** ein, welche wahrscheinlich durch krankhafte Störungen in den Chlorophyllkörpern mit veranlaßt wird. Im Vakuum, in Wasserstoff und anderen die Lebenstätigkeit störenden Gasen, in Chloroformdämpfen usw. tritt ebenfalls Bewegungslosigkeit ein, die teils durch Sauerstoffmangel, teils

durch unmittelbar giftige Wirkungen jener Gase bedingt ist. Wirken die zu den Starrezuständen führenden nachteiligen Verhältnisse nicht zu lange ein, dann kann nach kurzer Zeit der frühere reizbare Zustand wiedergewonnen werden(100).

Die Variationsbewegungen, welche bei den Staubfäden einiger Berberideen (Berberis, Mahonia) und Compositen (Cynareen und Liguliforen) auftreten, schließen sich in ihrer Zellmechanik an die der Laubblätter an. Die etwas nach außen gewölbten Staubfäden der genannten Compositen verkürzen sich nach mechanischer Reizung unter Geradestreckung ziemlich gleichmäßig auf ihrer ganzen Länge, oft um 10—20 %, und lassen so den mit Pollen bedeckten Griffel aus der Staubbeutelröhre heraustreten (Fig. 232). Die Verkürzung erfolgt bei mäßiger Dickenzunahme, unter Wasseraustritt in die Intercellularen, durch die elastische Kontraktion der Membranen. Die Staubfäden von Berberis und Mahonia sind nur an der Innenseite ihrer Basis gegen Berührung empfindlich. Die Verkürzung erfolgt dann auch nur auf der Innenseite und verursacht, daß sich die Antheren auf die Narbe hinbiegen(101).

Die zweilippigen Narbenlappen der Griffel von Mimulus, Strobilanthes (Goldfussia), Martynia, Torenia und anderen Pflanzen schließen sich, wenn sie berührt werden, zusammen; die von Torenia und Mimulus öffnen sich nach bloßer Berührung wieder; wurden sie dabei aber mit wirksamem Pollen belegt, so bleiben sie dauernd geschlossen. Der knieförmig abwärts gebogene Griffel von Stylidium graminifolium schnellt bei Berührung des Knies nach oben um; bei Stylidium adnatum fehlt mit der entsprechenden Sinnesvorrichtung auch die Reizbarkeit.

VI.

Die Fortpflanzung.

Das Leben aller pflanzlichen Einzelwesen ist zeitlich begrenzt; nach kürzerem oder längerem Bestehen sterben sie ab und verschwinden modernd und verwesend in der Humusdecke des Bodens. Eine Urzeugung, welche neue Einzelwesen aus der leblosen Materie schaffen könnte, findet, so weit unsere Erfahrung reicht, nicht statt. Alle uns umgebenden Pflanzen sind vielmehr die Nachkommen ihrer Vorfahren und verdanken ihr Dasein der allen Organismen zukommenden Fähigkeit, Nachkommen zu erzeugen. Die Fortpflanzung ist demnach eine Lebensäußerung, welche allen bestehenden Pflanzenarten zukommen muß. Hierbei treten auch stets vereinzelte, durch schrittweise oder sprungweise eintretende Variation, Mutation, Mißbildung oder Bastardierung zu stande gekommene neue Pflanzenformen auf, die von ihren Erzeugern abweichen, oft kräftig wachsen und eine zähe Lebenstätigkeit entwickeln, denen aber zum Teil die Fähigkeit fehlt, gleiche Nachkommen zu erzeugen oder aber mit wildwachsenden Pflanzen in erfolgreichen Wettbewerb zu treten und die deshalb alsbald wieder verschwinden, wenn sie nicht durch menschliche Kunst vermehrt und erhalten werden. Eine große Zahl von Kulturpflanzen, mit denen der Mensch die Erde bevölkert hat, gehört zu diesen künstlich vor dem Untergang bewahrten Pflanzenformen.

Es liegt aber in dem Wesen der Fortpflanzung, daß nicht nur Nachkommen erzeugt werden, sondern daß diese zugleich jünger sind, also ihr selbständiges Dasein an einem, von ihren Erzeugern schon überschrittenen Punkt der Entwicklung neu beginnen.

Die Bildung einer selbständigen Nachkommenschaft hat aber auch die Loslösung derselben von der Mutterpflanze zur Voraussetzung. Bildet ein

Baum neue Knospen und Zweige, die mit ihm in Verbindung bleiben und das Schicksal des Ganzen teilen, so wird man das nicht als Fortpflanzung bezeichnen. Würden dieselben Knospen aber sich loslösen und als selbständige Pflanzen auf dem Boden weiterwachsen können, so wäre das eine Art der Fortpflanzung, wie sie tatsächlich bei manchen Pflanzen vorkommt.

Die Verhältnisse der Außenwelt stellen aber noch eine weitere Forderung an die Fortpflanzung, nämlich die, daß sie mit einer Vermehrung der Keime Hand in Hand geht. Da die losgelösten und dem Zufalle preisgegebenen Keime nicht immer die notwendigen Lebensbedingungen zu ihrer Entwicklung vorfinden, sondern zum allergrößten Teil in widrigen Verhältnissen untergehen, so müßte eine Pflanzenart, deren Individuen nur je einen einzigen Keim hinterließen, in kurzer Zeit ausgestorben sein. Für die Vermehrung wird denn auch in ausgiebigster Weise bei der Fortpflanzung gesorgt und die Natur verfährt dabei in geradezu verschwenderischer Weise. Hundert- und tausendfach ist gewöhnlich die Zahl der erzeugten Keime ihren Erzeugern gegenüber. Man denke nur an den Fruchtkörper eines großen Hutpilzes, welcher Millionen entwicklungsfähiger Sporen ausstreut, oder an die Samen der Orchideen, von denen sich meist viele Tausende in einer einzigen Fruchtkapsel befinden.

Verjüngung, Loslösung und Vermehrung von Einzelwesen sind also die wesentlichsten Punkte, auf welche es bei der Fortpflanzung ankommt.

Bekanntlich erfüllen die Pflanzen diese Bedingungen in der verschiedensten Art und Weise. Jede größere Abteilung des Pflanzenreichs hat dabei ihren besonderen Weg eingeschlagen und auch innerhalb jener Abteilungen herrscht eine solche Mannigfaltigkeit, daß jede Familie, jede Gattung, ja sogar oft eine einzelne Art ihre besonderen Eigentümlichkeiten ausgeprägt hat. Auf diese Abweichungen in den Fortpflanzungsorganen und ihren Funktionen ist die ganze Systematik so wesentlich begründet, daß sie geradezu auf eine spezielle Darstellung der Fortpflanzungsformen im Pflanzenreich hinausläuft.

So vielgestaltig im einzelnen aber auch die Aufgabe gelöst ist, so lassen sich doch im allgemeinen zwei ganz verschiedenartige Wege ihrer Lösung unschwer erkennen und scharf trennen.

Der einfachere von diesen besteht in der Bildung von Zellen oder Zellkörpern, welche nach ihrer Lostrennung von der Mutterpflanze ohne weiteres, entweder sofort oder nach einer Ruhezeit, keimen und zu neuen selbständigen Einzelwesen heranwachsen. Die besonderen Wachstumsgesetze und der Formenkreis der Mutterpflanze setzen sich kontinuierlich in diesen Gebilden fort. Diese Fortpflanzungsweise hat man die vegetative, ungeschlechtliche oder monogene genannt.

Der zweite, bei der Fortpflanzung eingeschlagene Weg ist dagegen ein merkwürdiger Umweg. Es werden dabei nämlich zweierlei Fortpflanzungszellen erzeugt. Eine jede Art derselben vereinigt zwar auch in sich die Wachstumsgesetze und Eigentümlichkeiten ihres Erzeugers, aber es fehlt beiden für gewöhnlich doch die Fähigkeit sich allein weiter zu entwickeln. Statt zu Nachkommen auszuwachsen, gehen diese Zellen nach kürzester Zeit zu grunde, wenn ihnen nicht die Gelegenheit geboten ist, sich miteinander zu vereinigen. Erst wenn die eine (die weibliche) Zelle die andere (die männliche) Zelle in sich aufgenommen und sich mit ihr verbunden hat, wird das Produkt entwicklungsfähig und beginnt wachsend einen Nachkommen zu liefern. Diese Art der Fortpflanzung wird als die geschlechtliche, sexuelle oder digene bezeichnet.

Die physiologische Bedeutung der sexuellen Fortpflanzung gibt sich nicht ohne weiteres zu erkennen. Einerseits findet man nämlich, daß die vegetative Fortpflanzung bei vielen Pflanzen genügt, um den Bedarf an Keimen vollständig zu decken, so daß Pflanzen auch ganz ohne sexuelle Fortpflanzung auskommen könnten. So regenerieren sich gewisse Hut- und Bauchpilze, soweit bekannt, ganz auf vegetativem Wege. Die kultivierten Bananen, manche Dioscoreaceen, gewisse Spielarten der Weinrebe, der Apfelsinen und Erdbeeren bringen überhaupt keine sexuellen Nachkommen mehr hervor; sie werden nur auf vegetativem Wege fortgepflanzt. Der Knoblauch, welcher an Stelle der Blüten kleine Zwiebelchen bildet, die weiße Lilie und der durch Wurzelknöllchen sich vermehrende Ranunculus Ficaria u. a. bilden, falls sie ungestört ihre vegetativen Vermehrungsorgane zu entwickeln vermögen, kaum noch keimfähige Samen aus, die aber unter Umständen durch operative Eingriffe, wie z. B. an abgeschnittenen Blütenständen jener Pflanzen, noch gewonnen werden können. Für gewöhnlich vermehren sie sich ausschließlich durch ungeschlechtliche Sprossung, ohne dabei irgendwie zu degenerieren, wie man das früher einmal bei der ausschließlich vegetativen Vermehrung annahm (102).

Sehen wir so, daß die monogene Zeugung durchaus der Erhaltung der Art genügen kann, so muß doch andererseits die sexuelle Zeugung etwas bieten, was durch die vegetative nicht erreicht wird. Wäre dem nicht so, dann müßte es höchst auffällig und überflüssig erscheinen, daß die viel komplizierter eingerichtete und dabei viel weniger sicher zum Ziel führende sexuelle Zeugung noch neben der vollkommen ausreichenden monogenen auftritt. Selbst die verbreitetsten Schimmelpilze, deren Sporen fast überall gefunden werden, bilden zuweilen geschlechtliche Fortpflanzungszellen in besonders geformten Sexualorganen aus.

Von manchen niederen Pflanzen (Pilzen und Algen) weiß man, daß die Bildung der Sexualzellen von bestimmten äußeren Einflüssen abhängig ist; bei diesen hat es, wie Klebs nachwies, der Experimentator durch Abänderung der entsprechenden äußeren Bedingungen, wie Ernährung, Temperatur, Transpiration, Beschaffenheit des Substrats und des umgebenden Mediums in der Hand, entweder ungeschlechtliche Sporen oder Geschlechtszellen entstehen zu lassen. Die Ungunst gewisser äußerer Vegetationsbedingungen gibt in manchen Fällen augenscheinlich den Anstoß zur sexuellen Keimerzeugung, zumal dann, wenn das Geschlechtsprodukt im stande ist, eine längere Zeit der Ruhe unter ungünstigen Vegetationsverhältnissen zu überdauern (Zygosporen von Algen, Phycomyceten), während die vegetativen Keime (Schwärmsporen von Algen, Conidien) dazu weniger geeignet sind. In anderen Fällen sind aber im Gegenteil gerade die vegetativen Fortpflanzungskörper besonders widerstandsfähig und auf eine Ruheperiode eingerichtet, wie z. B. die Sporen der Farne. Hier liegt also kein Moment vor, welches das Bestehen einer sexuellen Zeugung neben der vegetativen notwendig erscheinen ließe (103).

Was die digene von der monogenen Zeugung aber wesentlich verschieden macht, das ist die Mischung der Substanz der Eltern und die daraus entstehende Vermischung der väterlichen und mütterlichen Eigenschaften, wie sie besonders bei der Bastardbildung (S. 256) klar hervortritt.

In der Beeinflussung der Qualität zeigt sich demnach ein wesentlicher Unterschied zwischen der vegetativen und der sexuellen Fortpflanzungsweise und hierin werden wir denn auch wohl die eigentliche Bedeutung der Sexualität zu suchen haben. Die vegetative Zeugung sorgt an sich nur für

die quantitative Vermehrung der Einzelwesen, die sexuelle beeinflußt daneben in hohem Maße deren Qualität: Die vegetativ erzeugte Nachkommenschaft besteht aus unvermischten Abkömmlingen, die sexuelle dagegen aus Mischlingen.

Der in den Nachkommen entfaltete Komplex von Eigenschaften weicht daher bei vegetativer Vermehrung von dem der Stammform in der Regel nicht ab. In der Tat erhalten sich auf dem Wege vegetativer Vermehrung alle, auch die nicht samenechten (sexuell nicht vererbbaren) Varietäten, Sorten und Rassen unserer Kulturpflanzen. Es ist dabei natürlich nicht ausgeschlossen, daß die vegetativen Abkömmlinge in derselben Weise wie die Stammpflanze, oder deren Teile, der Variation (Abänderung) unterliegen (S. 2, 132). Wie aus der Knospe eines Baumes ein Zweig mit neuen Eigenschaften (abweichender Färbung und Gestaltung) durch sogen. Knospenvariation hervorzugehen vermag, oder an einem so abgeänderten Zweige nach Jahren wieder ein als Atavismus bezeichneter völliger oder teilweiser Rückschlag zu den Eigenschaften des Vorfahren sich plötzlich einstellen kann, gerade so gut vermögen Variationen auch bei vegetativer Fortpflanzung aufzutreten, wie das nach Beyerinck selbst bei den durch ausschließliche Zweiteilung sich vermehrenden Bakterien durch erbungleiche Teilung der Fall ist (104).

Im Gegensatz zu den vegetativen Abkömmlingen wird der mit den Eigenschaften des Vaters noch ausgerüstete sexuelle Nachkomme niemals der Mutterpflanze völlig ähnlich sein können, sondern die Eigenschaften der Eltern in sich vereinigen müssen. Soweit diese abweichend waren, kommen sie zumeist nicht mit gleichem Anteil im Nachkommen zur Geltung, indem einzelne Merkmale sich vorzugsweise Geltung verschaffen, dominierend auftreten, andere recessiv zurücktreten oder zeitweise ganz latent bleiben, so daß der Nachkomme nicht die Mitte zwischen den Eltern zu halten braucht, sondern mehr auf den Vater oder mehr auf die Mutter herauskommt. Von ausschlaggebender Bedeutung sind diese Verhältnisse für den Charakter jeder sexuellen Nachkommenschaft. An einzelnen Individuen auftretende Abweichungen werden, sofern sie nicht absolut dominierenden Charakter besitzen, bei regelmäßiger Kreuzung mit normal gebliebenen Individuen wieder verwischt und schließlich beseitigt werden müssen. Unter solchen Umständen arbeitet die sexuelle Forpflanzung demnach auf eine Konstanz der Art hin. Unter anderen Umständen, so, wenn beide Eltern die Neigung haben, in der gleichen oder in ähnlicher Richtung abzuändern, können Abweichungen bei den sexuellen Nachkommen auch verstärkt auftreten, in demselben Sinne wie zwei Wellensysteme sich bei gleicher Schwingungsphase verstärken.

Wie durch die divergierenden elterlichen Tendenzen im sexuellen Nachkommen der Eigenschaftenkomplex aus dem bisherigen Gleichgewicht gebracht und im Zusammenhang mit korrelativen Beziehungen leicht größeren Schwankungen unterworfen werden kann, das zeigt sich an der großen Neigung zur Variation, welche bei Bastarden (S. 256) allgemein zu beobachten ist. Aber auch bei normaler, artgleicher Befruchtung können, neben vorübergehenden fluktuierenden Variationen, in vereinzelten Fällen Nachkommen erzeugt werden, die von den Eltern so stark, und zwar erblich, verschieden sind, daß sie den Charakter neuer Arten oder neuer Unterarten (petites espèces, von denen bei Draba verna L. etwa 200 bekannt sind) tragen. In solcher sprungweisen Variation, die v. Kölliker und im Anschluß an ihn Korschinsky als Heterogenesis, de Vries neuerdings wieder als Mutation bezeichnet, erblicken diese Autoren einen Ausgangspunkt für die Entstehung neuer Arten überhaupt, die sich dann vornehmlich einstellt, wenn eine bestehende Art aus uns unbekannten Gründen in eine Mutationsperiode eintritt, wie sie de Vries experimentell für Oenothera Lamarckiana nachweisen konnte, während Korschinsky eine große Reihe von Beispielen für Heterogenesis historisch nachwies, für welche das 1590 in einem Heidelberger Garten entstandene Chelidonium laciniatum und die unlängst bei Landau neu aufgetretene Capsella Heegeri Solms. typische Beispiele liefern (105).

Wie die Erfahrungen der Pflanzenzüchter gelehrt haben und wie es von Klebs, zumal für niedere Pflanzen, experimentell festgestellt wurde, werden die Fortpflanzungsprozesse zum Teil von anderen Konstellationen der äußeren und inneren Lebensbedingungen gefördert als die des eigentlichen Wachstums, derart, daß sich beide, Wachstum und Fortpflanzung, meist, jedoch nicht immer, gegenseitig ausschließen.

Die vegetative Fortpflanzung.

Die vegetative Fortpflanzung, die sich, wie erwähnt, auch als monogene oder ungeschlechtliche bezeichnen läßt und deren vorwiegend quantitativer Charakter als bloße „Vermehrung“ bereits hervorgehoben wurde, ist fast durch das ganze Pflanzenreich verbreitet; nur wenige Pflanzen entbehren ihrer ganz, wie z. B. viele Koniferen und einzelne Palmen.

Daß sich aus einzelnen gewaltsam abgetrennten Teilen, ja aus einzelnen Zellen oder aus nackten Protoplasten (Siphoneen) vieler Pflanzen, neue vollständige Individuen regenerieren können, ist schon bei der künstlichen Vermehrung hervorgehoben worden. Bei der vegetativen Fortpflanzung liegt der gleiche Fall vor, nur handelt es sich hier um eine organische oder doch im natürlichen Verlauf der Entwicklung eintretende Abtrennung der Teile von der Mutterpflanze. Dieselbe tritt uns in verschiedener Weise entgegen und rein äußerlich kann man zwischen einer Vermehrung durch mehrzellige Vegetationskörper (Brutkörper) und einer solchen durch einzelne Zellen (Brutzellen, Sporen) unterscheiden.

Die **Vermehrung durch mehrzellige Brutkörper (Sprossung)** ist sehr oft nur eine Loslösung von Seitensprossen, ein Zerfall eines Einzelwesens in mehrere. So werden die Seitensprosse eines Wasserfarns, der Azolla, durch Absterben und Zerfall der alten Teile der Mutterachse voneinander getrennt und wachsen als selbständige Pflänzchen weiter. So trennen sich auch die durch Sprossung entstandenen Vegetationskörper der Wasserlinsen (Lemna) bald voneinander und werden zu selbständigen Einzelwesen.

Ähnlich verhält es sich bei der Vermehrung durch Ausläufer, Rhizome und Knollen. Wie man an der Erdbeere, dem kriechenden Günsel (Ajuga reptans), der Kartoffel und vielen anderen Pflanzen sehen kann, bilden sich aus Knospen an weit sich ausbreitenden Ausläufern neue Sprosse, die sich bewurzeln. Sterben dann die Ausläufer selbst ab, so entsteht im Umkreis der Mutterpflanze eine ganze Kolonie selbständiger Tochterpflanzen. Ohne daß die Nachkommen von der Mutterpflanze fortgerückt werden, teilen sich die einzelnen Knollen der Corydalis solida, so daß aus einem einzigen zunächst deren 2, dann 4 und mehr hervorgehen, und in alten Zwiebeln entstehen neue Zwiebelchen (die „Zwiebelbrut“) in den Blattachseln der Zwiebelschuppen. Brutzwiebeln oder Brutknospen („Bulbillen“) entstehen aber auch in anderen Fällen an oberirdischen Vegetationsorganen.

Bei verschiedenen Alliumarten findet man diese im Blütenstande an Stelle von Blüten stehen, ebenso bei dem Grase Poa bulbifera und bei Polygonum viviparum. Bei Lilium bulbiferum, Dentaria bulbifera u. a. sind die Achselknospen der Blätter zum Abfallen eingerichtet (Fig. 22). In den dick angeschwollenen Blatthöckern erhalten sie Reservestoffe mit auf den Weg, und oft treiben sie schon Würzelchen vor ihrer Ablösung. Bei Ranunculus Ficaria ist es dagegen das Würzelchen der Achselknospe, welches mit Reservestoffen vollgepfropft wird und so das Aussehen eines Getreidekorns erhält. Beim Absterben des Krautes im Vorsommer bleiben seine Bulbillen in großer Zahl auf der Erde zurück und haben zu der Fabel vom „Getreideregen“ Anlaß gegeben. Auch bei Kryptogamen, wie z. B. bei Laub- und Lebermoosen und Farnen treten Brutknospen auf. Eine besondere biologische Aufgabe haben die Winterknospen (Hibernakeln) vieler unserer Wasserpflanzen (Hydrocharis, Utricularia, Lemna u. a.) übernommen. Sie werden im Herbst gebildet, sinken dann auf den Boden der Gewässer, wo sie überwintern, und kommen erst im nächsten Frühjahr an die Oberfläche, um sich zu entfalten und fortzuwachsen.

Aus den vegetativen Vermehrungsorganen entwickeln sich bei höheren Pflanzen jedes Jahr sofort kräftige, blühreife und fruchtende Individuen, während die aus Samen hervorgehenden Keimlinge oft mehrere Jahre der Erstarkung bedürfen, bis sie diesen Zustand erreicht haben (Zwiebelgewächse, Hopfen usw.).

Findet man bei den angeführten Pflanzen die Brutknospen an der Stelle, wo sonst Seitensprosse stehen, so können andererseits Brutknospen auch an Orten auftreten, wo sich gewöhnlich keine normalen Sprossungen finden. Es sind dann Adventivbildungen, welche besonders häufig an Blättern, zumal auf Blattspreiten, aber auch an der Spitze ausläuferartig gestreckter Farnblätter, angetroffen werden. Während die Blätter von Begonien, Drosera u. a. erst nach gewaltsamer Lostrennung neue Pflanzen entwickeln, besitzen die Blätter anderer Pflanzen diese Fähigkeit unter normalen Verhältnissen. Besonders ausgezeichnet sind dadurch einige Farne (Asplenium decussatum, Asplenium Fabianum, A. bulbiferum, A. viviparum), auf deren Spreite Adventivknospen entstehen, die sich alsbald zu jungen bewurzelten Pflänzchen entwickeln, dann abfallen und selbständig weiter wachsen (Fig. 233). Bei Cystopteris bulbifera entwickeln sich die Adventivknospen zunächst zu Bulbillen mit rundlichen, fleischig angeschwollenen Blättern. Auf den Blättern unserer Cardamine pratensis bilden sich ebenfalls sehr häufig Adventivpflänzchen, und auch Cardamine amara ist zu solchen Bildungen geneigt. Eins der merkwürdigsten Beispiele bieten die Blätter des tropischen Bryophyllum, welche nach der leicht erfolgenden Abtrennung von der Mutterpflanze, auch schon nach Verwundungen, in ihren Einkerbungen sehr schnell Brutpflänzchen entwickeln. Ein Windstoß genügt aber schon, um die Fiederblättchen dieser Pflanze abzulösen und auf den Boden herabfallen zu lassen. Auf dem Thallus mancher Lebermoose (Marchantia, Lunularia) entstehen Brutknospen an bestimmten Orten dicht gedrängt und füllen bei stetem Nachwuchs deren „Brutbecher“ (Fig. 352) aus.

Fig. 233. Asplenium Fabianum. Eine junge Farnpflanze (T) mit 5 Blättern und einigen Würzelchen (W) ist durch Sprossung aus dem Blattgewebe (M) einer älteren Pflanze entstanden.

Einer der interessantesten Fälle von Fortpflanzung durch Adventivsprossungen kommt zu stande durch die Bildung von Adventivkeimen in Samenanlagen. Die Brutkörper wachsen dabei in den Embryosack hinein und entwickeln sich dort ganz wie sexuell entstandene Embryonen (so bei Evonymus, Citrus, Funkia [Fig. 234], Caelebogyne u. a.). Früher glaubte man, es handele sich bei solcher Polyembryonie um eine Keimbildung aus zahlreichen Eizellen eines Embryosackes. Strasburgers Untersuchungen lehrten jedoch, daß hier die Bildung vegetativer Adventivkeime vorliegt. Die im Embryosack vorgebildete Eizelle kann nach erfolgter Befruchtung sich mit den Adventivkeimen zugleich weiter entwickeln, meist wird sie jedoch durch die Adventiv- oder Nucellarembryonen daran gehindert. Die Samen enthalten dann im Gegensatz zu denen anderer Pflanzen kein Geschlechtsprodukt, sondern sind zu Organen der vegetativen Vermehrung geworden. Die Bildung der Adventivkeime hängt in den polyembryonalen Samen freilich noch insofern von der Befruchtung ab, als sie nur nach vorausgegangener Bestäubung erfolgt. Bei der neuholländischen Euphorbiacee Caelebogyne ilicifolia, die ausschließlich in weiblichen Exemplaren in unseren Gewächshäusern kultiviert wird, aber auch bei Balanophora elongata nach Treub, und bei Bal. globosa nach Lotsy, entstehen die Adventivkeime auch ohne die Anregung der Bestäubung. Hier liegen also Fälle von Geschlechtsverlust vor, wie sie auch von einzelnen Farnen bekannt und dort als Apogamie bezeichnet worden sind. Bei den apogamen Farnen treten an Stelle der Geschlechtsprodukte in den Prothallien vegetative Keime auf, so in verschiedener Abstufung bei Athyrium filix femina var. cristatum, Aspidium falcatum, Todea africana, sowie bei Pteris cretica und bei Nephrodium pseudo-mas var. polydactylum. Bei letzteren werden überhaupt keine weiblichen Geschlechtsorgane mehr gebildet, die junge Farnpflanze geht vielmehr durch vegetative Sprossung genau aus

denjenigen Stellen am Prothallium hervor, wo die Archegonien stehen müßten. Bei dem genannten Nephrodium gehen, wie Farmer, Moore und Digby entdeckten, Verschmelzungen vegetativer Prothalliumzellen der Embryobildung voraus. Bei Aspidium filix mas var. cristatum u. a. hat sich die Apogamie erst durch die Kultur ausgebildet. In erweitertem Sinne könnte man also auch bei jenen Alliumarten, die an Stelle ihrer Blüten Brutzwiebeln tragen, von Apogamie reden ([106]).

An diese Vorgänge schließt sich unmittelbar an die **Parthenogenesis**, d. h. die Entwicklung einer Eizelle ohne vorhergegangene Befruchtung. Dieser seltenere Vorgang war früher allein sicher festgestellt für Chara crinita. Dieses Armleuchtergewächs ist in stehenden Gewässern des nördlichen Europas nur in weiblichen Exemplaren verbreitet (männliche sind nur an einigen Stellen in Südeuropa und Asien bekannt) und ohne Befruchtung entwickeln sich aus den normal aussehenden Früchtchen junge Pflanzen. Auch für einige Saprolegnia- und Marsiliaarten wird Parthenogenesis angegeben. Juel stellte die parthenogenetische Entwicklung aber auch bei der Composite Antennaria alpina fest, und Murbeck bewies ihre Verbreitung in der Gattung Alchemilla (Tribus Eu-Alchemilla: A. alpina, A. vulgaris, A. speciosa u. a.), wo eine Befruchtung wegen der völligen Degeneration des Pollens ausgeschlossen ist und die Eizelle bereits in der geschlossenen Blütenknospe die ersten embryonalen Teilungen ausführt. Overton und Day geben weiterhin parthenogenetische Entwicklung an für Thalictrum purpurascens bezw. Th. Fendleri und Treub hat sie sehr wahrscheinlich gemacht für Ficus hirta. — Weiter ausgedehnte Untersuchungen werden zweifellos noch mehr Fälle von Parthenogenesis erkennen lassen ([107]).

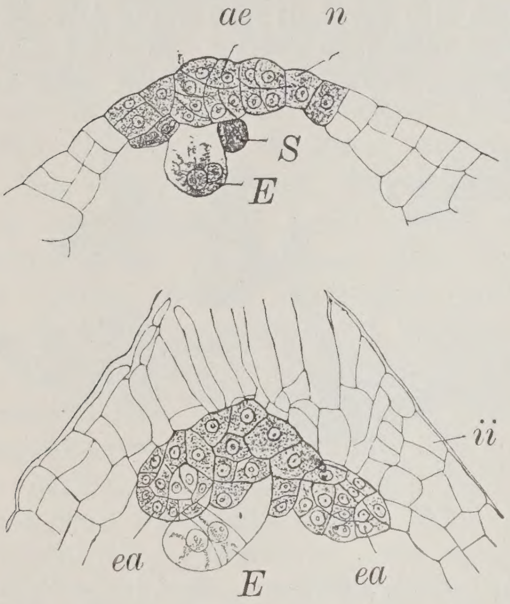


Fig. 234. Vegetative Sprossung aus dem Nucellus von Funkia ovata (Hosta coerulea). *n* Nucellus, dessen Zellen am Scheitel sich zur Anlage der Adventivkeime (*ae*) anschicken, *S* Synergide, *E* aus der Eizelle entstandener Embryo, *ii* inneres Integument.

Von besonderem Interesse ist der dabei von Loeb, Winkler, Nathansohn u. a. geführte Nachweis, daß der Anstoß zur Embryobildung für die Eizelle auch auf gewisse andere Weise als durch Kopulation mit der männlichen Sexualzelle gegeben werden kann. Loeb fand, daß die Anregung zu parthenogenetischer Entwicklung ausgehen kann von wasserentziehenden Lösungen ($MgCl_2$ u. a. Salzen, Zucker, Harnstoff), Winkler wies das Gleiche nach für Extraktivstoffe des Spermas, und Nathansohn erkannte, daß unter Umständen Temperaturerhöhungen die der unbefruchteten Eizelle im Interesse der Befruchtung auferlegte Ruheperiode und Entwicklungsunfähigkeit unterbrechen und die parthenogenetische Weiterentwicklung auszulösen vermögen. Jickeli erblickt in schädigenden Einflüssen, die ein gewisses Maß nicht überschreiten, die allgemeinere Veranlassung dafür ([108]).

Vegetative Vermehrung durch Einzelzellen: Sporen, Brutzellen. Wie durch vielzellige Vegetationskörper, so kann die Vermehrung auch durch einzelne abgetrennte Zellen bewirkt werden. Rein formal betrachtet liegt diese Vermehrungsweise schon da vor, wo sich einzellige Bakterien, Pilze und Algen durch Teilung ihres Vegetationskörpers fortpflanzen. Eigenartig in Form und Bildungsweise treten die der vegetativen Vermehrung dienenden Zellen (Sporen, Conidien, Schwärmsporen, Brutzellen von Moosen)

aber erst bei höher entwickelten Kryptogamen auf, wo sie oft an besonderen Organen oder in eigens dazu angelegten Behältern (Sporangien, Conidienträgern, Fruchtkörpern) ausgebildet werden. (Vgl. den speziellen Teil.)

Wie eine Farnpflanze gelegentlich unmittelbar und unter Umgehung des Sexualaktes aus dem Prothallium durch Sprossung hervorgehen kann, so kommt es ausnahmsweise auch vor, daß die Sporenbildung übergangen wird und die Prothallien unmittelbar aus dem Farnblatt hervorsprossen (Aposporie bei Varietäten von Athyrium, Aspidium).

Die sexuelle Fortpflanzung.

Wie erwähnt, werden bei der geschlechtlichen Fortpflanzung zweierlei Fortpflanzungszellen gebildet, welche einzeln in der Regel aber nicht entwicklungsfähig sind. Erst durch die Vereinigung einer männlichen mit einer weiblichen Zelle zu einer einzigen neuen embryonalen Zelle erlangt diese normaler Weise die Fähigkeit der weiteren Entwicklung, wobei die Elemente des männlichen und des weiblichen Kernes (der „Vorkerne") in dem Keimkern mehr oder weniger lang getrennt nebeneinander kenntlich bleiben (109).

Bei der Befruchtung verschmelzen meist zwei einkernige Zellen miteinander, auch wenn die vegetativen Protoplasten mehrkernig sind. Doch wird das durch Stevens bekannt gewordene Vorkommen bei Albugo Portulacae, Bliti und A. Tragoponis, daß die mehr oder weniger zahlreichen Kerne des Eies mit ebenso zahlreichen Spermakernen sich bei der Befruchtung vereinigen, kaum allein stehen (vgl. Gnetum).

Nachdem O. und R. Hertwig, Boveri und Delage an tierischen Objekten die Weiterentwicklung kernloser Eifragmente nach dem Eindringen eines Spermatozoons festgestellt hatten, wurde diese sogen. Merogonie von Winkler auch bei der Fucacee Cystoseira barbata beobachtet (110).

Es wurde bei der Parthenogenesis (S. 248) darauf hingewiesen, daß die der Eizelle im Interesse der Befruchtung auferlegte Unfähigkeit zur Weiterentwicklung nicht nur durch Kopulation mit der männlichen Zelle, sondern auch durch andere Mittel aufgehoben werden kann, wie es auch Klebs für Algengameten schon gezeigt hatte. Man hat bei der Befruchtung demnach zu unterscheiden zwischen einem die Entwicklungshemmung der Eizelle beseitigenden Reizkomplex und der, den Entwicklungsgang derselben qualitativ beeinflussenden Zellvereinigung. Beide Einflüsse wirken bei der natürlichen Befruchtung zusammen (111).

Da es bei der sexuellen Fortpflanzung nicht nur darauf ankommt zweierlei Geschlechtszellen zu bilden, sondern auch deren Vereinigung zu ermöglichen, so ist es verständlich, daß für die Organe der sexuellen Zeugung andere Einrichtungen nötig waren, als sie für rein vegetative Tätigkeiten ausgebildet sind. Die Sexualorgane erscheinen uns demgemäß am vegetativen Körper der Pflanzen als ganz eigenartige, ja zuweilen fremdartige Gebilde, deren Erscheinungsform aus dem vegetativen Aufbau einer Pflanze sich gar nicht voraussehen läßt.

Die **Vereinigung der Sexualzellen** (die **Befruchtung**) wird, abgesehen von den dazu nötigen äußeren Vorrichtungen, vornehmlich durch chemotaktische oder chemotropische Reizbarkeit erzielt (S. 216, 233). Es ist zumeist die ruhende Eizelle oder das weibliche Sexualorgan, von welchem die Anziehung auf die beweglichen männlichen Geschlechtszellen ausgeht. Wo eine äußere Formverschiedenheit zwischen männlichen und weiblichen Sexualzellen noch nicht ausgebildet ist, da findet man gewöhnlich beide bewegungsfähig und die Anziehung scheint dann auch eine gegenseitige zu sein. So ist es augenscheinlich bei den äußerlich gleichen und beweglichen Sexualzellen (den Gameten) niederer Kryptogamen, besonders denen der Algen (Fig. 96). Bei der Kopulation der Konjugaten sind beide Sexual-

zellen äußerlich auch noch gleich; hier bewegt sich aber doch schon meist die eine Sexualzelle durch den Verbindungskanal zu der ruhenden anderen. Als frei bewegliche Spermatozoiden sind die männlichen Zellen bei den meisten Algen und mit Ausnahme der Florideen, wo die cilienlosen männlichen Zellen wohl passiv vom Wasser an die weiblichen Organe getrieben werden, im ganzen Reich der höheren Kryptogamen, selbst noch bei einzelnen Gymnospermen, entwickelt. Bei den geschlechtlich differenzierten Pilzen bleibt dagegen die männliche Substanz zumeist in einen eigenartigen Hyphenzweig eingeschlossen, der sich dem weiblichen Organ anschmiegt. Die Verschmelzung der Inhalte erfolgt nach der Durchsetzung der trennenden Membranen. Eine ähnliche Durchsetzung trennender Membranen wie hier bei den Pilzen ermöglicht erst die Befruchtung bei den höchst entwickelten Pflanzen, den Phanerogamen. Die männlichen Zellen sind bei diesen sogen. Blütenpflanzen in der Mikrospore (dem Pollenkorn) eingeschlossen, die weibliche liegt als nackte Eizelle im Embryosack, dieser selbst in der Samenanlage und die Samenanlage bei den Angiospermen nochmals eingeschlossen im Fruchtknoten. Die doppelt umhäuteten Pollenkörner werden mit fremder Hilfe (durch Luft- oder Wasserströmungen, vornehmlich aber durch Tiere) entweder direkt auf die Samenanlagen oder aber auf die Fruchtknoten übertragen. Hierauf wächst ihre innere weiche Haut zu einem Zellschlauche aus, der durch chemotropische (einschließlich hydrotropische und aërotropische) Reize geführt, wie ein Pilzfaden die Gewebe des Fruchtknotens und der Samenanlage durchwächst und in den Embryosack bis zur Eizelle vordringt. Die Vereinigung der Sexualzellen kann hierauf erst erfolgen. (Fig. 98.)

Neuere Untersuchungen haben ergeben, daß im Embryosack nicht nur die Eizelle mit einer Spermazelle verschmilzt, sondern auch der Embryosackkern mit der anderen Spermazelle des Pollenschlauches. Die von dem Embryosackkern abgeleiteten Endospermzellen sind demnach in solchen Fällen, wie der Embryo selbst, ein Mischprodukt, woraus sich ihr Mischlingscharakter bei der Xenienbildung erklärt. Ob dieser sogen. doppelten Befruchtung eine biologische Bedeutung zukommt, ist ungewiß; möglich ist, daß die Embryosackzelle als Schwesterzelle des Eies die gleiche chemotaktische Anziehung für die Spermazelle besitzt wie dieses, daß aber die Vereinigung für das der Konsumption anheimfallende Nährgewebe nebensächlich ist (112).

Wenn auch ein gesundes Pollenkorn für die Befruchtung je einer gesunden Samenanlage genügt, so lehrt doch die Erfahrung, daß ein besserer Erfolg durch eine reichlichere Bestäubung der Narben erreicht wird. Dies rührt nach Correns daher, daß nicht alle Pollenkörner (wie auch nicht alle Samenanlagen) tauglich sind. So kamen bei Mirabilis Jalapa auf 1 taugliches Pollenkorn 4 untaugliche, auf 3 taugliche Samenanlagen 1 untaugliche. Für Mirabilis longiflora waren die entsprechenden Zahlen 1 : 3 und 1 : 1 (113).

Der wichtigen Pollenübertragung ist bei den Phanerogamen eine ganz besondere Sorgfalt durch mannigfache Einrichtungen gewidmet. Diese sind verschieden je nach den Transportmitteln, auf die es ankommt.

Als windblütige (anemophile) Pflanzen bezeichnet man kurz alle diejenigen Gewächse, deren Pollen vom Wind übertragen wird. Da diese Übertragungsweise von den Zufälligkeiten der Luftströmungen abhängig ist, so findet man bei den Windblütlern meist enorme Mengen von Pollenkörnern entwickelt. In ganzen Wolken wird der Blütenstaub aus Tannen- und Fichtenwäldern in die Luft geführt und fällt oft als dichter sogen. Schwefelregen nieder. Die Oberfläche des Bodensees ist davon oft weithin gelb gefärbt („der See blüht" sagen die Anwohner), und in norwegischen Fjords bildet, nach Beobachtungen meines Vaters

F. C. Noll, noch in 200 Faden Tiefe Koniferenpollen eine Zeitlang die Hauptnahrung einer Rhizopode (der Saccamina).

Die männlichen Blüten sind deshalb in Kätzchenform (Koniferen, Amentaceen) dem Luftzug frei ausgesetzt, oder ihre Staubbeutel an langen schwanken Filamenten, wie bei den Gräsern, aufgehängt. Ihre Pollenkörner selbst kleben nicht oder hängen nicht durch rauhe Oberflächen zusammen, sondern entfallen wie ein leichter loser Staub den geöffneten Staubbeuteln. Die Pollenkörner mancher Nadelhölzer sind zudem durch zwei blasige Auftreibungen der Exine ganz besonders flugfähig gemacht. Bei einigen Windblütlern wird der Pollen durch plötzliche Streckung der in der Knospe gerollten Filamente (Urticaceen, z. B. Pilea) oder durch in den Staubbeuteln ausgelöste Spannungen als Wölkchen in die Luft geschleudert. — Die weiblichen Organe sind zum Auffangen des in der Luft schwebenden Pollens sehr häufig besonders eingerichtet, indem die Narben pinselförmig ausgebreitet (Corylus) oder wie Federchen fein behaart (Gräser) oder gefiedert (Walnuß), oder zu langen Fäden ausgezogen sind (Mais). Bei gewissen Koniferen mit freien oder doch frei vortretenden Samenanlagen bleiben die Pollenkörner in Flüssigkeitstropfen hängen, welche von den Samenanlagen ausgeschieden werden. Bei anderen Koniferen, deren Samenanlagen in weiblichen Blütenzapfen geborgen sind, fangen schuppenartige Gebilde die zufliegenden Pollenkörner auf und leiten sie bis zu den klebrigen Öffnungen der jungen Samenanlagen.

Das Wasser spielt bei der Befruchtung höherer Pflanzen keine so große Rolle wie bei den Kryptogamen. Nur einzelne untergetauchte Gewächse bedienen sich seiner zur Pollenübertragung und werden deshalb auch als wasserblütige (hydrophile) Gewächse bezeichnet. — Bei den submers blühenden Seegräsern (Zostera-Arten) zeigt der Pollen gewisse, mit der Befruchtung unter Wasser in Beziehung stehende Eigentümlichkeiten. Er bildet keine rundlichen Körner, sondern langgestreckte fädige Gebilde, die zudem keine Exine besitzen und das spezifische Gewicht des Seewassers haben, so daß sie von den leisesten Strömungen schwebend fortgeführt und so mit den Narben in Berührung gebracht werden. Bei den ebenfalls submersen Wasserpflanzen Vallisneria, Elodea und den Enhalus-Arten des indischen Ozeans vollzieht sich die Befruchtung nicht unter Wasser, sondern sie spielt sich auf dessen Oberfläche ab. So trennen sich z. B. die männlichen Blüten von Vallisneria spiralis von ihren Stielen ab, steigen zum Wasserspiegel auf, wo sie sich öffnen und wie kleine Kähne an die weiblichen Blüten angetrieben werden. Letztere finden sich ihrerseits durch Streckung ihrer zunächst spiralig aufgerollten langen Stiele auf dem Wasserspiegel ein und werden nach der Befruchtung durch erneute spiralige Aufrollung wieder hinabgezogen (114).

Die große Mehrzahl der Phanerogamen ist bei der Befruchtung auf die Vermittelung von Tieren angewiesen. Indem die Pflanzen durch verschiedenartige Lockmittel Insekten, Vögel, Fledermäuse oder Schnecken dazu heranziehen, wird neben der tierischen Bewegung auch die tierische Intelligenz in den Dienst der Befruchtung gestellt. Die Pollenübertragung wird dann nicht mehr dem bloßen Zufall anheimgegeben; der Pollen wird vielmehr in gesicherter Weise zu den Sexualorganen gebracht, so daß er nicht mehr in so verschwenderischer Fülle wie bei den Windblütlern gebildet zu werden braucht. Die allermeisten der hierher gehörigen Pflanzen sind auf Bestäubung durch Insekten (Entomophilie) eingerichtet. Diesen wird als Nahrung geboten sowohl Zuckersaft, welcher als Nektar an verschiedenen Orten der Blüte ausgeschieden werden kann, als auch der Pollen selbst, welcher als stickstoffreiche Nahrung mit dem Honig zusammen von den Bienen zum „Bienenbrot“ verknetet wird. Um die Tiere schon von fern auf die nektarbietenden Sexualorgane aufmerksam zu machen, werden zudem eigenartige Düfte und bunte Farben erzeugt. Die „Schauapparate“ werden meist von den auffallend gefärbten Blütenblättern oder von Kelchblättern (Nigella, Aconitum) bezw. vom Perigon (Lilien, Tulpe) geliefert, können aber auch von Hochblättern und Achsenteilen, die nicht unmittelbar zur Blüte gehören, als sogen. circumflorale (Euphorbiaceen) oder extra-

florale Schauapparate (Astrantia major, Salvia-Arten, Melampyrum, Dalechampia, Bougainvillea spectabilis, Aroideen) gebildet werden. Der Pollen der Insektenblütler ist im Gegensatz zu dem der Windblütler in der Regel nicht staubartig trocken; seine Körner kleben vielmehr mittels öliger oder schleimiger Flüssigkeit aneinander oder sie hängen durch rauhe Oberflächen oder mittels viscinartiger Fäden (Oenothera) zusammen und werden erst durch die Tiere von den Antheren abgestreift. Der Bau der Blüten ist, wie Chr. Konr. Sprengel in seinem berühmt gewordenen Buche „Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen“ 1793 zuerst ausführlich beschrieb, aber so eingerichtet, daß die Pollenkörner notwendig an bestimmten Körperstellen des nahrungsuchenden Tieres hängen bleiben und von ihm dann auf der klebrigen oder filzigen Narbe einer anderen Blüte abgestreift werden. Die hierbei im einzelnen auftretende Mannigfaltigkeit des Verfahrens ist geradezu unübersehbar, und die sich ergänzenden Ausrüstungen in Körperformen und Funktionen bei Blumen und Insekten sind höchst merkwürdig. Es mag hier nur noch erwähnt werden, daß außer dem Ernährungstrieb auch die Fortpflanzungsinstinkte der Insekten von den Pflanzen ausgebeutet werden. Nicht wenige Pflanzen (Araceen, Stapelien, Aristolochien) verleiten durch das mißfarbige Aussehen und den ausgesprochenen Aasgeruch ihrer Blüten die Aasfliegen, ihre Eier auf denselben abzulegen; bei diesem Geschäft besorgen sie dann die Pollenübertragung für die Pflanze. — In Südamerika sind es namentlich auch die flinken, die Blüten nach Insekten absuchenden Kolibris, oder die den wässerigen Nektar von Puya-Arten trinkenden Stare, in der alten Welt die Honigvögel, welche als Befruchtungsvermittler eine Rolle spielen. Marloth zählt in der südafrikanischen Flora ca. 40 ornithophile Pflanzen, die vornehmlich durch Vermittlung von Nektarinien bestäubt werden. Arten der Gattung Feijoa locken aber die gefiederten Bestäubungsvermittler durch genießbare, fleischigsüße Blumenblätter an. Neben den vogelblütigen (ornithophilen) Pflanzen verdienen auch die durch Fledermäuse bestäubten (chiropterophilen) Blüten einer kurzen Erwähnung: So wird beispielsweise die zweihäusige Pandanacee Freycinetia durch einen Pteropus (fliegenden Hund) bestäubt, der die inneren Kronblätter verzehrt. Die Blüten von Calla palustris und Chrysosplenium, auch die im Erdboden steckenden Blüten der oft kultivierten Aspidistra, sollen dagegen dem Zutun von Schnecken ihre Bestäubung verdanken (malakophile Pflanzen) ([115]).

Selbstbefruchtung und Kreuzung. Wie gesagt, ist es bei der sexuellen Fortpflanzung gegenüber der vegetativen auf Qualitätsänderungen abgesehen; diese werden aber am besten erreicht, wenn die Sexualzellen von verschiedenen Einzelwesen abstammen. Es stimmt damit nun ganz überein, wenn man bei der sexuellen Fortpflanzung im Pflanzenreich mannigfache, oft sehr kompliziert erscheinende Einrichtungen findet, welche auf eine Kreuzung (eine Verbindung der Sexualzellen verschiedener Individuen) hinarbeiten, selbst da, wo die Einzelwesen zweierlei Geschlechtsorgane zugleich tragen, also Zwitter sind, wie u. a. die meisten Phanerogamen.

Wenn man trotzdem in einer keineswegs geringen Minderzahl von Fällen Selbstbefruchtung als Notbehelf oder als Regel vorfindet, so beweist das, daß auch ohne die Vorteile der Mischung, also ganz wie bei vegetativer Vermehrung, die Fortpflanzung bestehender Formen unter den bestehenden Verhältnissen bei diesen Pflanzen ausreicht. Häufig führt aber die erfolgende Selbstbestäubung überhaupt nicht zur Selbstbefruchtung, indem der Pollen der eigenen Blüte auf der Narbe unfruchtbar bleibt (selbst-sterile Blüten), und nur derjenige anderer Individuen die Befruchtung zu vollziehen vermag

Roggen, Corydalis cava und einzelne Cruciferen, Lobelia fulgens, Verbascum nigrum u. a.) (116).

Die Abneigung zwischen den sexuellen Organen ein und derselben Blüte geht bei gewissen Pflanzen sogar weit über diese Gleichgültigkeit hinaus, indem jene geradezu die Wirkung von Giften annehmen. So ist es von einigen Orchideen bekannt, daß die Bestäubung mit dem eigenen Pollen die Blüte zum Absterben bringt, während in anderen Fällen der Pollen von der Narbenfeuchtigkeit der eigenen Blüte in kurzer Zeit getötet wird.

In gewissen Fällen tritt Selbstbefruchtung ein, wenn eine Fremdbestäubung überhaupt nicht erfolgt, oder sie geht auch neben dieser her (Weizen-Spielarten, Gerste, Canna, Violaarten, Linum usitatissimum u. v. a.). Bei manchen Familien kommen neben den großen, auf Kreuzbefruchtung durch Insekten eingerichteten Blüten kleine unscheinbare Blütchen vor, die meist zwischen Blättern an der Erde verborgen sind, sich gar nicht entfalten und ausschließlich durch Selbstbefruchtung Samen tragen. Den Staubbeuteln pflegt in solchen Blüten der Öffnungsmechanismus zu fehlen, so daß die Pollenschläuche durch die Antherenwände zu der Narbe durchwachsen müssen. Bei diesen Pflanzen liefern diese kleistogamen Blüten oft den reichlichsten Samen (Violaarten), bei anderen sind sie allein fruchtbar (Polycarpum tetraphyllum besitzt ausschließlich kleistogame Blüten). Da aber bei den meisten Arten neben der Selbstbefruchtung in kleistogamen Blüten eine Kreuzung in den großen offenen Blüten erfolgt (Impatiens noli tangere, Lamium amplexicaule, Specularia perfoliata u. a.), so stand wenigstens den Voreltern und steht den Nachkommen kleistogam erzeugter Geschlechter die Kreuzung offen.

Fig. 235. Blütenstand von Plantago media mit protogynen Blüten. Aus den mittleren noch geschlossenen Blüten ragt der bestäubungsfähige Griffel hervor (♀). Die unteren Blüten haben den Griffel bereits verloren, dafür aber die langen Staubblätter entfaltet (♂).

Besondere Einrichtungen zur Kreuzung der Geschlechtszellen finden sich im ganzen Pflanzenreich von den niedersten bis zu den höchsten Formen.

Am sichersten wird natürlich die Selbstbefruchtung vermieden, wenn die Individuen eingeschlechtig sind, wenn also neben rein weiblichen rein männliche Exemplare bestehen. Solche diöcische oder zweihäusige Pflanzen sind in fast allen Pflanzenklassen von den niedersten Kryptogamen bis zu den höchstentwickelten Phanerogamen vertreten. (Niedere Algen und Fucusarten, Marchantia, Polytrichumarten, Equiseten, Taxus, Hanf, Hopfen, Dattelpalme usw.) Bei monöcischen, einhäusigen Pflanzen sind männliche und weibliche Geschlechtsorgane zwar auch auf verschiedene Blüten verteilt, aber diese sitzen auf ein und derselben Pflanze. Eine Befruchtung findet also da wenigstens zwischen verschiedenen Blüten statt; meist ist die Kreuzung mit anderen Individuen aber auch hier durch Dichogamie gesichert.

Als Dichogamie bezeichnet man die ungleichzeitige Geschlechtsreife der weiblichen und der männlichen Sexualorgane. Wenn die männlichen Sexualorgane vor den weiblichen oder die weiblichen vor den männlichen zur Reife und zur Befruchtung kommen, so wird auch bei morphologisch hermaphroditen (zwitterigen) Blüten Selbstbestäubung vermieden und die Kreuzung gesichert. Die monöcischen und hermaphroditen Pflanzen haben vor den diöcischen den Vorteil voraus, daß alle Individuen Samen bilden können, während bei den diöcischen die männlichen Stöcke für die unmittelbare Samenproduktion verloren gehen. Durch Dichogamie wird die Kreuzung bei Zwittern aber in so einfacher Weise erreicht, daß sie bei sonst sehr wechselndem Befruchtungsmodus

eine ungemeine Verbreitung im Pflanzenreich besitzt. Je nach der Geschlechtsfolge unterscheidet man protandrische (proterandrische, androgynische) Pflanzen und protogyne (proterogyne, gynandrische) Pflanzen.

Die Protandrie, die Vorreife der männlichen Sexualorgane, ist die häufigere Form der Dichogamie. Sie ist an Blütenpflanzen zu beobachten bei Geraniaceen, Campanulaceen, Compositen, Lobelien, Umbelliferen, Malvaceen, bei Epilobium, Digitalis v. u. a. Die Antheren öffnen sich sich hier zu einer Zeit und entlassen ihren Pollen, wenn die Narben derselben Blüten noch unvollkommen entwickelt und nicht empfängnisfähig sind. Solche Blüten können also nur mit dem Pollen anderer und zwar jüngerer Blüten befruchtet werden.

Bei der seltneren Protogynie werden die Griffel mit ihren Narben empfängnisfähig, bevor die Staubbeutel derselben Blüte ihren Pollen entlassen; sie sind, wenn letzteres eintritt, schon bestäubt und oft sogar schon welk oder abgeworfen, so daß die Blüten im ersten weiblichen Stadium nur durch den Pollen älterer Blüten befruchtet werden können (Anthoxanthum odoratum, Luzula pilosa, Scrophularia nodosa, Aristolochia Clematitis, Helleborus, Magnolia, Plantago media Fig. 235).

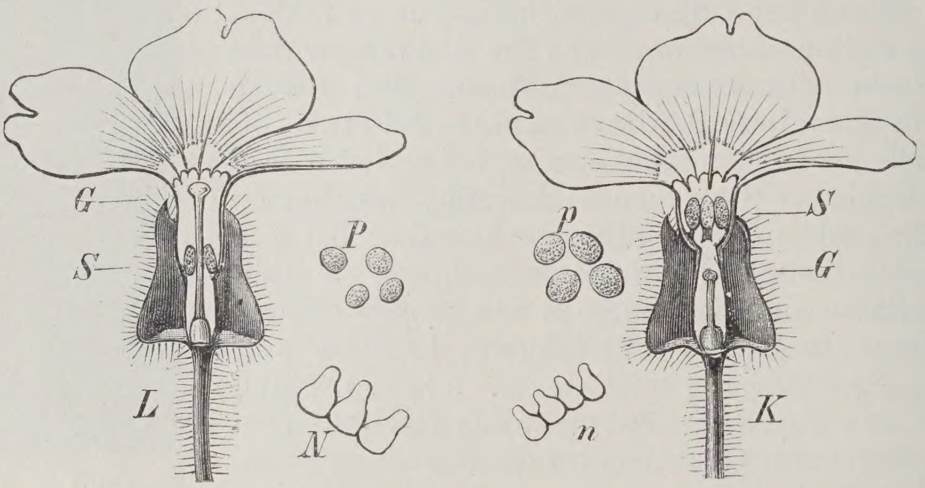


Fig. 236. Primula sinensis. Zwei heterostyle Blüten von verschiedenen Stöcken. *L* langgriffelige, *K* kurzgriffelige Blütenform, *G* Griffel, *S* Staubbeutel, *P* Pollenkörner, *N* Narbenpapillen der langgriffeligen, *p* und *n* Pollenkörner und Narbenpapillen der kurzgriffeligen Form. *P*, *N*, *p*, *n* bei 110facher Vergrößerung.

Schon merkwürdiger, weil auch mit Hilfe morphologischer und anatomischer Verschiedenheiten arbeitend, bewirkt die Heterostylie die Kreuzung. Das Wort, welches man mit „Verschiedengriffeligkeit" übersetzen müßte, bezeichnet die Eigentümlichkeit einiger Pflanzenspecies, ihre Narben und Staubbeutel auf verschiedenen Individuen in verschiedener Höhe zu entwickeln. Fig. 236 stellt zwei Blüten von verschiedenen Stöckchen der chinesischen Primel (Primula sinensis) dar. Die eine Blüte (rechts) besitzt einen kurzen Griffel, welcher die Narbe in der halben Höhe der Blumenröhre trägt; die Staubbeutel sitzen dagegen oben am Eingang der Röhre. In der anderen Blüte dagegen steht oben am Eingang die Narbe, auf der halben Höhe aber die Staubbeutel. In der kurzgriffeligen Blüte sind außerdem die Pollenkörner größer, die Narbenpapillen kleiner, als in der langgriffeligen (Fig. 236 *p*, *P* und *n*, *N*). Den Grund für diese schon früher bekannten morphologisch-anatomischen Abweichungen sah man erst ein, als Darwin entdeckte, daß hier eine Einrichtung zur Kreuzung vorliegt. Die Befruchtung hat nämlich dann den besten Erfolg, wenn Pollenkörner und Narben von demselben Stockwerk zusammen kommen, wenn also Pollen der langgriffeligen Blüte auf die Narbe der kurzgriffeligen gelangt und umgekehrt. Bei solcher „legitimen" Befruchtung werden mehr und bessere Samen erzielt als bei „illegitimer", ja bei Linum perenne und Fagopyrum esculentum hat die legitime Befruchtung allein überhaupt Erfolg. Die legitime Befruchtung wird aber dadurch begünstigt, daß Insekten beim Blütenbesuch gleichhoch gestellte Sexualorgane mit der gleichen Körperstelle berühren. — Die Primeln besitzen Blüten mit zweierlei Griffellängen (dimorphe Heterostylie), das Gleiche ist der

Fall bei Pulmonaria, Hottonia, Fagopyrum, Linum. Man hat aber auch Blüten mit trimorpher Heterostylie kennen gelernt (Lythrum Salicaria und Oxalisarten), wo bei zwei Staubblattkreisen ein dreifacher Höhenwechsel von Narben und Staubbeuteln gegeben ist.

Bei einer großen Zahl von Blüten wird die Selbstbestäubung mechanisch unmöglich gemacht, indem der eigene Pollen durch die gegenseitige Lage der Sexualorgane verhindert wird mit der Narbe in Berührung zu kommen (Herkogamie). So liegen bei Iris die Staubbeutel unter den gewölbten Griffeln verborgen. Bei der Kesselfallenblüte der Aristolochia Clematitis ist auch schon durch die Protogynie eine Bestäubung der Narben durch die an der Griffelsäule tiefer inserierten Antherenfächer ausgeschlossen. Kleine Insekten dienen hier zur Übertragung des Pollens aus älteren in die jüngeren Blüten. Letztere stehen zunächst mit geöffnetem Schlunde aufrecht (Fig. 237 *I*); die Tierchen können durch die reußenartig nach innen gerichteten Haare wohl in den Kessel vordringen, aber nicht eher zurück als bis die Antheren nach Einrollung der Narbenflächen ihren Pollen entleert haben. Dann erst vertrocknen die Haare und die Tiere verlassen die nun abwärts gebogene Blüte (Fig. 237 *II*), um den mitgeführten Pollen auf die frischen Narben einer von neuem besuchten jüngeren Blüte zu übertragen. Bei Orchideen und Asclepiadeen dagegen verhindert die eigenartige Beschaffenheit der Pollenmassen, sowie ihre Stellung, die Selbstbefruchtung. Ähnliche Beispiele ließen sich noch viele anführen. Fig. 238 zeigt die Blüte der Wiesensalbei (Salvia pratensis), deren Staubbeutel in der Oberlippe verborgen sind, deren Griffel mit der zweispaltigen Narbe aber weit aus dieser hervorragt. Besucht eine Hummel diese Blüte, um aus ihrem Schlunde den Honig zu saugen, so muß sie mit dem Rüssel zunächst die kleine Platte (*s*) aus dem Wege schaffen, die den Eingang sperrt und die aus der Verwachsung zweier steriler, blattartiger Antherenhälften hervorgegangen ist. Diese Platte befindet sich am kurzen Hebelarm des hier sehr langen staubfadenähnlichen Konnektivs (*c*), an dessen langem Hebelarm die andere fruchtbare Antherenhälfte sitzt, und die so auf den Rücken der Hummel aufgestoßen wird. Der Pollen bleibt dabei auf der Haarbekleidung des Hummelrückens haften und wird an der Narbe des verlängerten Griffels einer älteren Blüte abgestreift. Schöne Beispiele für Herkogamie finden sich

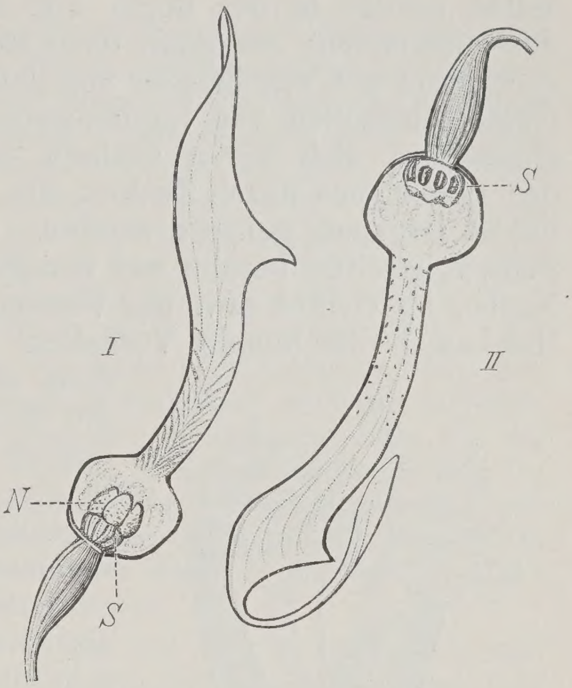


Fig. 237. Blüten von Aristolochia Clematitis geöffnet. *I* Junge Blüte. Die Narben *N* empfängnisfähig, die Staubbeutel *S* noch geschlossen. *II* Ältere Blüte. Die Staubbeutel offen, die Narben schrumpfend. Die Reusenhaare vertrocknet. 2/1. Vgl. den Text.

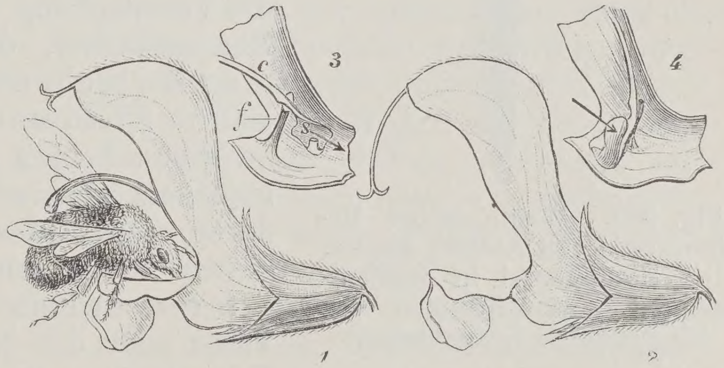


Fig. 238. Blütenbestäubung bei Salvia pratensis. Die Blüte links, von einer Hummel besucht, zeigt das Herausbeugen der gekrümmten Staubblattkonnektive aus der helmartigen Oberlippe und die Abstreifung des Pollens auf dem Insektenleib. Die ältere Blüte rechts mit zurückgezogenen Konnektiven und langem Griffel. — Die innere Einrichtung des Bestäubungsapparates zeigen die kleinen Figuren *3* und *4* oben. Rechts (*4*) der Staubfadenapparat in Ruhestellung, wobei die Konnektive in der Oberlippe liegen, links (*3*) beim Eindringen eines Insektenrüssels in der Richtung des Pfeils. *f* Staubfaden (Filament), *c* das wagebalkenartig an demselben drehbare Konnektiv, *s* die den Blüteneingang sperrende blattartig entwickelte Antherenhälfte.

weiterhin bei den Papilionaceen, bei Kalmia, deren Staubbeutel in taschenartigen Ausbuchtungen der Kronröhre zurückgehalten werden (Fig. 239), bei Vinca, u. a.

Bastarde, Hybride oder **Blendlinge.** Die Vereinigung von Sexualzellen erfolgt in der Regel nur dann, wenn sie von Individuen derselben Art abstammen; nur dann üben sie die erwähnte Anziehung aufeinander aus, vereinigen sich miteinander und liefern ein entwicklungsfähiges Produkt. Die Geschlechtszellen von Laubmoosen und Farnen werden, von allem anderen abgesehen, sich schon deshalb nicht vereinigen, weil die Spermatozoiden der Laubmoose durch Zucker, die der Farne durch Äpfelsäure zu den weiblichen Organen gelockt werden. Bei den Phanerogamen können derartige Schwierigkeiten bereits auf verschiedenen Punkten des Pollenweges, auf der Narbe, im Griffel usw. der Vereinigung im Wege stehen. — Jenes gewöhnlich zu beobachtende Verhalten bildet aber kein unabänderliches Gesetz, denn man hat gefunden, daß sich zuweilen auch die Sexualzellen verschiedener Spielarten, verschiedener Species, ja selbst verschiedener Gattungen zu einem entwicklungsfähigen Produkte vereinigen können. Den so entstandenen Nachkommen nennt man einen Bastard.

Fig. 239. Wenigblütige Inflorescenz von Kalmia glauca. Die Staubbeutel in taschenartigen Ausbuchtungen der Blumenkrone festgeklemmt.

Die Tatsache der Bastardbildung war in mehr als einer Beziehung wichtig für unsere wissenschaftliche Erkenntnis. Sie war es, welche die Sexualität der Pflanzen, an der man so lange gezweifelt hatte, erst unwiderleglich bewies. (In dieser Absicht wurden Bastarde in großer Zahl von Kölreuter 1761 gezogen) ([117]). Andererseits zeigte sie aber auch erst die ganze und wahre Bedeutung der geschlechtlichen Vereinigung, nämlich die Vermischung der väterlichen und mütterlichen Eigenschaften, denn in den Bastarden sah man Zwischenformen der beiden verschiedenen Stammeltern entstehen, die entweder zwischen beiden genau die Mitte hielten oder in manchen Eigenschaften mehr dem Vater, in anderen mehr der Mutter glichen (vgl. S. 245). Selten nur kommt es vor, daß der Bastard bis auf verschwindende Merkmale wieder ganz dem Vater oder der Mutter ähnlich sieht. In diesem Falle bleiben die Eigenschaften der einen Stammform latent, können aber in den Nachkommen unverhofft durch Atavismus (S. 132, 245) zum Vorschein kommen. Häufig ist die Durchdringung der Eigenschaften aber eine vollständige. Hat die eine Art ganzrandige Blätter, die andere Art gefiederte, so trägt der Bastard eine Mittelform, nämlich eichenähnlich gebuchtete Blätter. Hat die väterliche Art rote Blüten, die mütterliche aber gelbe, so bringt der Bastard häufig Blüten hervor, die entweder rot und gelb gescheckt (Mosaikbastarde), oder orangefarbig sind. Wird eine früh blühende Form mit einer spät blühenden gekreuzt, so liegt die Blütezeit des Bastards in der Mitte usw. Auch in der freien Natur findet man auf natürlichem Wege entstandene Bastarde bei besonders dazu neigenden Pflanzen. Daß hybride Formen hier aber nicht noch häufiger sind, liegt einmal am Mangel zeitlicher oder räumlicher Gelegenheit zur Bastardierung, andererseits aber auch daran, daß der Pollen der eigenen Art bei gemischter Bestäubung meist vor anderem bevorzugt wird und allein zur Wirkung kommt ([118]).

Der Einblick in die Gesetzmäßigkeit der Vererbung der verschiedenen Merkmale ist durch Untersuchungen von DE VRIES, CORRENS, TSCHERMAK u. a. wesentlich gefördert worden; die Ergebnisse lassen aber vorläufig immer noch neue Mannigfaltigkeiten und noch keine sie umfassende Regel erkennen (119).

Je näher sich die Formen stehen, desto leichter bilden sie im allgemeinen auch Hybriden, doch ist das keine durchgängige Regel. Manche Familien neigen leichter dazu (Solanaceen, Caryophyllaceen, Iridaceen usw.), andere bilden nur schwierig oder überhaupt keine Bastarde (Papilionaceen, Koniferen, Urticaceen, Convolvulaceen usw.). Dasselbe abweichende Verhalten findet sich unter verwandten Gattungen und Arten vor. Weinreben, Weiden, Dianthusarten sind leicht, Silenearten nur schwer, die von Nicotiana, Verbascum, Geum leicht, die Arten von Solanum, Linaria, Potentilla dagegen schwer untereinander zu bastardieren. Eine Hybridisierung von nahe verwandten Arten will oft nicht gelingen (z. B. Apfel- und Birnbaum), dagegen lassen sich Pfirsich mit Mandel, ja sogar Species der verschiedenen Gattungen Lychnis und Silene, Rhododendron und Azalea, Aegilops und Triticum, Zea und Euchlaena (Teosinté der Mexikaner ein Kreuzungsprodukt zwischen Zea Mays ♂ und Euchlaena mexicana ♀) kreuzen, je nach ihrer „sexuellen Affinität".

Abgeleitete Bastarde entstehen, wenn Bastarde untereinander oder mit der einen oder anderen Stammform wieder gekreuzt werden. Auf diese Weise hat man bei Weiden sechs Species, bei Reben noch mehr Arten in einem abgeleiteten Bastard vereinigen können. Nur in seltenen Fällen erhält sich übrigens die Form der Bastarde in den Nachkommen bei gegenseitiger Befruchtung konstant; diese zeigen vielmehr häufig die Neigung, in ihre Stammformen wieder zurückzuschlagen.

Bei Bastarden treten auch bemerkenswerte neue Eigenschaften auf, welche nicht durch Mischung der elterlichen entstanden sind. Es sind dies neben anderen: Eine veränderte Fruchtbarkeit, größere Neigung zu Abänderungen in Gestalt und Lebenserscheinungen (Varietätenbildung) und oft eine üppigere Gestaltung („luxurierendes Wachstum"). Die Fruchtbarkeit ist oft so weit herabgesetzt, daß Bastarde unfruchtbar sind (daher „Blendlinge") und sich sexuell nicht fortpflanzen; dies ist um so mehr der Fall, je weiter die Stammeltern in der Verwandtschaft auseinander standen. — Die Variabilität der Nachkommen wird oft stark gesteigert, besonders bei der Kreuzung verschiedener Spielarten untereinander (vgl. S. 245). — Bastarde auch von nahe verwandten Arten bilden häufig kräftigere Vegetationsorgane, blühen früher, länger und reichlicher als die Stammeltern, und dabei sind die Blüten oft größer, prächtiger und zur Füllung geneigt. Dieses luxurierende Wachstum und die gesteigerte Neigung zu Abänderungen machen die Bastarde ganz besonders wertvoll für die Gärtnerei und die Landwirtschaft.

Ob bei vegetativer Vereinigung zweier Pflanzenkörper, wie beim Pfropfen und Kopulieren, unter besonderen Umständen Mischformen (Pfropfhybride) entstehen können, wie sie nach vorhandenen Angaben in Cytisus Adami (der aber auch als sexueller Bastard von C. purpureus und C. Laburnum angesprochen wird) und neuerdings in Mittelformen zwischen Mespilus germanica und Crataegus monogyna vorliegen sollen (120), ist noch fraglich, denn in allen darauf gerichteten Versuchen bewahrten die vegetativ verbundenen Formen bisher ihre Selbständigkeit (S. 203, 245).

Verbreitung und Keimung der Samen.

Wenn die Samen bei ihrer Lostrennung von der Mutterpflanze einfach auf die Erde herabfielen, so wären die Keimpflanzen wieder zu Hunderten auf den von der Mutterpflanze besetzten Platz angewiesen; sie kämen dadurch aber alle in sehr ungünstige Verhältnisse und müßten sich gegenseitig zugrunde richten. Die Verbreitung der Samen ist deshalb eine Notwendig-

keit, wobei zwar ein mehr oder minder großer Bruchteil ganz dem Verderben preisgegeben wird, ein anderer Bruchteil aber zuträgliche Verhältnisse vorfindet und dabei in die Lage kommt, sich neue geeignete Vegetationsgebiete zu erschließen.

Zur **Verbreitung** der Samen (wie auch der Sporen und anderer Fortpflanzungskörper) bedient sich die Pflanze ganz derselben Transportmittel wie für die Übertragung ihres Pollens, also vornehmlich der Luft- und Wasserströmungen, eigener Schleudervorrichtungen und des Transportes durch Tiere. Dazu kommen jetzt auch, und nicht zum wenigsten, die menschlichen Verkehrsmittel hinzu.

Der weitaus vorwiegenden Verbreitung durch Luftströmungen dienen die mannigfaltigsten Einrichtungen, welche die Oberfläche für den Luftwiderstand, also die „Segelfläche“, bei geringem Körpergewicht vergrößern. Dahin gehört die Behaarung der Samen und Schließfrüchte, wie der von Gossypium, Epilobium, Populus, Typha, Clematis, Salix, der Früchte der Compositen mit ihrem Pappus, der von Valeriana u. v. a. Solche leichte Samen sieht man oft vom leisesten Windhauch fortgetragen werden. Verglichen mit dem freien beschleunigten Fall im leeren Raum beträgt bei der gleichmäßigen Fallgeschwindigkeit derartiger Samen die Fallverzögerung durch den Luftwiderstand bei

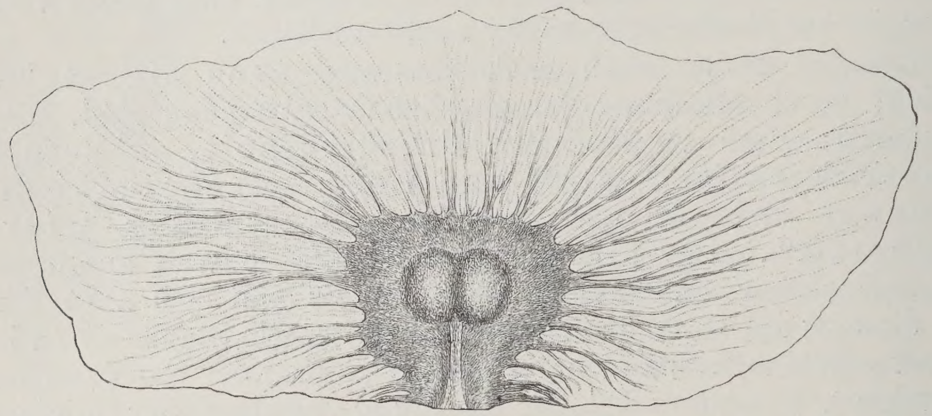


Fig. 240. Geflügelter Same von Bignonia mucronata in natürlicher Größe.

Cynara Scolymus bereits in der ersten Sekunde das Sechsfache. — Eine weitere Segeleinrichtung ist in der Ausbildung flügelartiger Anhänge gegeben. Diese können von einzelnen vergrößerten Kelchblättern (Dipterocarpus), von dem Fruchtknoten (Acer, Fraxinus, Ulmus, Polygonum, Hülsen von Robinien, Gleditschien, Früchte mancher Umbelliferen), oder von dem Samen selbst, wie bei den Flügelsamen der Bignonien (und mancher Ternströmiaceen) geliefert werden. Fig. 240 stellt den Samen einer Bignonie mit prachtvollen, seidenglänzenden Flügeln in natürlicher Größe dar; der Schwerpunkt des Samens ist so gelegen, daß dieser in nahezu wagerechter Bahn in leicht schaukelndem Fluge wie ein Tagfalter dahinschwebt. Sehr ähnlich sind die Samen bei der Cucurbitacee Zanonia ausgebildet. Bei den Linden ist es das mit dem Blütenstand verwachsene Tragblatt, welches den Früchten als Flugorgan erhalten bleibt, und bei den Samen der Abietineen sorgen flügelartige Anhängsel des Samens selbst für die Verbreitung. Der Segelflug der Samen und Früchte mit einseitiger Beflügelung erfolgt meist unter fortwährender schraubiger Umdrehung; sie steigen also nicht geradlinig, sondern wie auf einer flachen Wendeltreppe ab, wodurch eine weitere Verzögerung im Fall erreicht wird. Diese beträgt nach Dingler bei den Samen der genannten Bignonia bereits in der ersten Sekunde das Dreißigfache des freien Falls, bei Pinus silvestris noch das Siebenfache. — Wie das Schweben der Nebeltröpfchen und der Staubteilchen gegenüber dem raschen Fall dicker Wassertropfen und anderer größerer Körper lehrt, begünstigt die Kleinheit der Fortpflanzungskörper ebenfalls den Segelflug durch die relative Vergrößerung der Oberfläche gegenüber dem Volumen. Mikroskopisch kleine Pilze, Sporen und Bakterien werden daher leicht von bewegter Luft weiter getragen. (Bei den Sporen von Lycoperdon caelatum fand Dingler eine Fallverzögerung bis auf das Tausendfache, die sich

aber nach Nägeli theoretisch nur so erklären läßt, daß eine der Spore adhärierende unbewegliche dünne Luftschicht die Widerstandsfläche noch vergrößert) (121).

Samen und Früchte, die sich lange schwimmend erhalten, werden durch Wasserströmungen oft weit fortgeführt. Sie sind bei Strandgewächsen häufig mit Vorrichtungen wie wasserdichtem Schwimmgewebe, mit großen als Schwimmblasen dienenden Luftlücken usw. versehen, welche die Verbreitung auf weite Entfernungen durch die Meeresströmungen ermöglichen. So fielen Linné schon die vom Golfstrom an die norwegische Küste angeschwemmten Früchte tropisch-westindischer Gewächse auf; Kokospalmen stellen sich gewöhnlich als erste Vegetation auf einsamen Koralleninseln ein, und Schimper konnte im einzelnen die Bedeutung der Meeresströmungen für die geographische Verbreitung der Strandfloren nachweisen (122).

Tiere werden zu Verbreitern von Pflanzensamen erstens dadurch, daß sie die wohlschmeckenden und oft durch ihre Farbe auffallenden Früchte verzehren und die unverdaulichen Samen in keimfähigem Zustande wieder von sich geben. Zweitens verschleppen sie Früchte und Samen, die sich mit Haken und Borsten in ihrer Bekleidung festsetzen, bis sie anderswo wieder abgestreift werden (Lappa, Galium Aparine, Bidens, Echinospermum, Xanthium, sowie die in Schafswolle so häufigen, irrtümlich als „Wollläuse“ bezeichneten Früchtchen von Medicago minima). Andere Samen bleiben durch Klebestoffe haften, wie z. B. die der Mistel, welche von Vögeln, die das Fruchtfleisch verzehren, mit dem Schnabel an Baumästen abgestreift werden. Die fast universelle Verbreitung mancher Süßwasserpflanzen über weit entlegene Gebiete ist nur durch Vermittlung der Wasservögel denkbar.

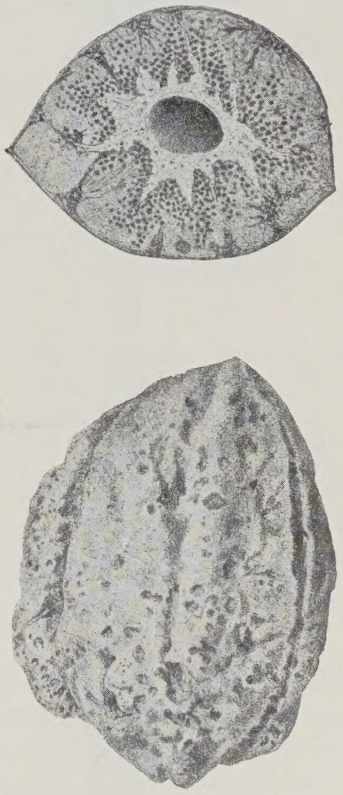


Fig. 241. Fruchtkern der Terminalia Catappa, in der Drift häufig. Oben das korkartige Schwimmgewebe von außen (die umschließende glänzende Haut bereits abgerieben). Unten Durchschnitt durch das Schwimmgewebe, der Same aus seiner Höhle entfernt.

Menschliche Transportmittel aber haben, zumal seit der Hebung des Weltverkehrs durch Eisenbahnen und Dampfschiffe, in die Verbreitung der Gewächse geradezu umwälzend eingegriffen. Wertvolle Nutzpflanzen sind so über alle Erdteile verbreitet worden; aber auch die Unkräuter sind diesen auf gleichem Wege gefolgt und manch' zufällig verschleppter Same findet dank jener menschlichen Transportmittel in weit entlegenen Kontinenten eine ungewohnte Keimstätte.

Das Fortschleudern von Sporen und Samen geschieht durch die plötzliche Auslösung von hygroskopischen, Kohäsions- oder von Turgor-Spannungen. Es wurde bereits erwähnt, daß das Capillitium der Myxomyceten und die Elateren der Lebermoose die Ausstreuung der Sporen besorgen und daß die Fruchtschalen des Buchses (Buxus) die glatten Samen so quetschen, daß sie fortgeschleudert werden wie eine zwischen den Fingerspitzen gepreßte Bohne. Beim Auseinanderspringen der trockenen Früchte von Hura crepitans soll der Urwald wie von einem Pistolenschuß widerhallen und die Teilstücke sollen wie Bombensplitter umherfliegen. Turgorkräfte, verbunden mit der Elastizität der Membranen, liefern die Spannungen beim Abschleudern der Sporangien von Pilobolus und beim Ausschleudern der Ascosporen mancher Ascomyceten. — Plötzlich ausgelöste Gewebespannungen führen zum Platzen der Früchtchen und zur plötzlichen Aufrollung der Fruchtblätter bei Impatiens, wodurch die Samen heftig fortgeschnellt werden. Bei der Spritzgurke (Momordica elaterium) und der Eselsgurke (Ecballium) dagegen ist die Fruchtwand von dem breiigen Fruchtfleisch wie die Wand eines Gummiballs gedehnt; trennt sich dann bei der Reife der Fruchtstiel los, der wie ein Champagnerpfropf in der Fruchtwand saß, dann spritzt der breiige Inhalt samt den Samen mit großer Gewalt ins Weite. — Die wenigen hier angeführten Beispiele können jedoch nur einige der gebräuchlichsten oder der merkwürdigsten Verbreitungsmittel in Erinnerung bringen.

Ist aber auf irgend eine Weise für die Verbreitung gesorgt, dann muß die Keimung vorbereitet werden.

Die Keimung hat als erste Bedingung, daß der Same auf seiner Wanderung lebensfähig geblieben ist. Der geringe Wassergehalt sowie das Stillstehen der auffallendsten Lebensäußerungen machen den ruhenden Keim sowohl gegen Temperaturextreme wie gegen Trockenheit widerstandsfähig. Feste, dichte Umhüllungen schirmen ihn zudem vor mechanischer Zerstörung. Das zweite Erfordernis ist das Unterbringen in der Erde, was durch Bodenrisse, durch Wind, Regen und Tiere gefördert wird. Der Befestigung des Samens im Erdreich, welche auch für das Abstreifen der Samenschalen oft von großer Wichtigkeit ist, dienen mannigfache Strukturen der Oberfläche: Rillen, Kämme, Stacheln und Haare, welch' letztere sich zum Teil hygroskopisch spreizen. Besonders schöne Einrichtungen zur Unterbringung der Samen liegen bei den Früchtchen von Geraniaceen (Erodium, Fig. 218) und Gramineen (Avena sterilis, Stipa- und Aristida-Arten) vor, die sich durch hygroskopische Torsionen und mit Hilfe steifer, rückwärts gerichteter Borsten in den Boden einbohren. Bei Trifolium subterraneum und bei Arachis hypogaea besorgen diese Aufgabe die durch ihren Geotropismus in die Erde eindringenden Fruchtstiele, während die Samenkapseln der Linaria cymbalaria von den lichtabwendigen Fruchtstielen in Mauer- und Felsspalten eingeführt werden. Nüsse, Eicheln und dergl. nahrhafte Samen aber werden nicht selten von Eichhörnchen, Eichelhähern und anderen Tieren als Wintervorrat in die Erde vergraben, wonach sie zum Teil vergessen werden und keimen. Die Keimlinge der Mangrovebäume, Rhizophora, Bruguiera und Kandelia gelangen auf eine sehr merkwürdige Art in den Boden. Sie durchbrechen mit ihrer langen und kräftigen Pfahlwurzel die reife Frucht noch während sie am Baume hängt (Fig. 242), lösen sich dann entweder von ihren Kotyledonen oder von dem Fruchtstiel los, fallen ab und bohren sich dadurch wie ein Spieß in den schlammigen Untergrund, in dem sie, aufrecht steckend, sofort weiterwachsen können. (Nackte Embryonen werden auch bei einzelnen Arten aus der Mimoseengattung Inga aus den Früchten bezw. den Samen entlassen.) Ein in doppelter Weise wirksames Befestigungsmittel im Boden besitzen manche Samen und Früchte, deren Oberflächenzellen zu mehr oder minder voluminösen Gallerthüllen verquellen. Quittensamen, Leinsamen, Samen von Plantago, von Cruciferen, dann Früchtchen von Salvia Horminum, und Samen von Cuphea und Cobaea (in deren Schleimzellen zum Teil auch zierliche Verdickungsbänder aufgerollt sind) liefern die bekanntesten Beispiele für derartige Schleimhüllen, die außer der Befestigung auch der Wasserversorgung dienen, da sie das aufgesogene Wasser nachhaltig festhalten oder gar hygroskopisch anziehen (wie das Viscin der Mistelbeeren). Auch Fruchthüllen können andererseits durch ihre schwammartige Beschaffenheit als Wasserbehälter dienen (reife Früchtchen von Tropaeolum, Poterium spinosum, Medicago terebellum).

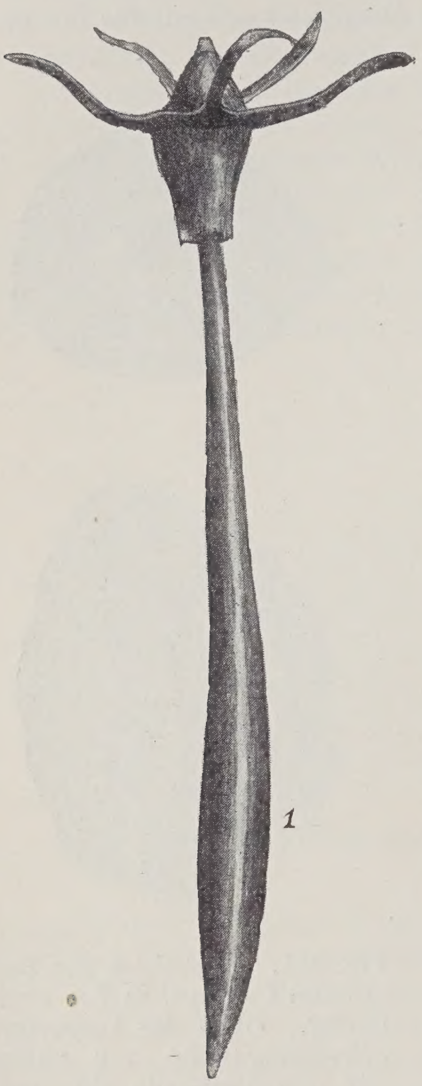


Fig. 242. Kandelia Rheedii. Der Keimling hat mit seiner mächtigen Keimwurzel (*1*) die Frucht durchbrochen, aus der er sich loslöst und in den Schlamm einpfählt. Aus Schimper, Pflanzengeographie.

Im Boden quillt der Same rascher oder langsamer auf, um dann sofort oder nach längerer Ruheperiode, die teils von verspäteter Quellung (Hart-

schaligkeit), teils von der nachträglichen Erstarkung des Embryos abhängt, zu keimen. In einzelnen Fällen ist die Keimung (sowohl von Samen, wie auch die von manchen Pilzsporen) abhängig von der Gegenwart geeigneter Wirtspflanzen (Orobanche, Tozzia), in anderen Fällen aber vom Licht (Viscum, Drosera, Pitcairnia maidifolia; Farn- und Moossporen) ([123]).

Die Samen mancher Koniferen keimen erst nach mehreren Jahren. Gewisse Pflanzen bringen neben Samen, die im ersten Jahre keimen, andere mit verlängerter Ruheperiode hervor (Trifolium pratense, Robinia Pseud-Acacia, Cytisus Laburnum, Reseda lutea, Euphorbia exigua, Dianthusarten u. a.). Auch unter günstigen Bedingungen keimen solche Samen erst nach Jahren. Der Keimverzug kann aber auch durch äußere Bedingungen hervorgerufen werden und unbeschadet der Keimfähigkeit jahrzehntelang dauern. So sah PETER aus einem Waldboden, welcher 46 Jahre vorher Ackerland gewesen war, sofort eine Reihe Ackerunkräuter aufgehen, als die Bedingungen für deren Keimung hergestellt wurden. Nicht selten wird aber eine geschwächte Widerstandskraft und Lebensenergie der unter solchen Umständen aus den Samen hervorgegangenen Individuen beobachtet ([124]).

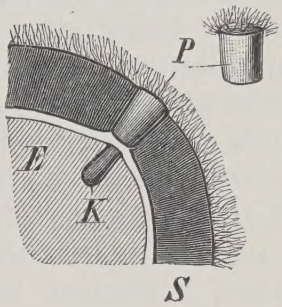


Fig. 243. Schnitt durch den oberen Teil der Frucht von Acrocomia sclerocarpa. *S* die harte Steinschale, *P* der Pfropf darin, welcher von dem Keimling *K* bei der Keimung leicht hinausgeschoben wird, *E* Endosperm. Nach PFITZER.

Die Keimung wird, nach den Beobachtungen von KLEBS, eingeleitet durch echte Wachstumsvorgänge; durch diese erfolgt erst die Sprengung der Samenhülle ([125]). Dies geschieht entweder von dem durchbrechenden Würzelchen, oder wird an dessen Stelle (bei vielen Monokotylen) vom Kotyledon besorgt. Bei anderen Samen geht dem Austreiben des Embryos das Öffnen der Schale durch das wachsende Endosperm- oder Keimblattgewebe voraus. Bei sehr harten und nicht aus zwei, durch Innendruck leicht trennbaren Hälften bestehenden Samenhüllen (wie sie z. B. bei Kirschkernen, Walnüssen vorliegen), sind oft besondere Stellen zum Austritt der Keimpflanze vorgebildet. An den großen und oft sehr harten Samenhüllen mancher Palmen lassen sich diese Stellen leicht finden. An der Spitze der Kokosnuß findet man drei solcher Durchlaßstellen für Embryonen vorgesehen, indem an diesen Orten der Schale die Bildung von Steinzellen unterblieben ist. Hinter dem dünnsten dieser Flecke findet man den kegelförmigen Embryo im Endosperm stecken. Durch die ungemein feste und dicke Samenschale einer anderen Kokospalme, der Cocos lapidea, führen drei lange hohle Keimkanäle, und der Keimling von Acrocomia sclerocarpa braucht nur einen leicht befestigten Pfropf aus der dicken harten Steinschale vor sich her zu schieben (Fig. 243) ([126]). Ähnliche Vorkehrungen sind bei Pandanus, Canna, Typha, Potamogeton und manchen Dikotylen (Tetragonia expansa, Medicago, Onobrychisarten und Portulacaarten) getroffen. — Das Eindringen der Keimpflanze in den Boden erfolgt durch die Streckung der Hauptwurzel oder des hypokotylen Stengelgliedes oder aber, wie bei vielen Monokotylen, zunächst durch den geotropischen Kotyledon selbst. Ist der absteigende Teil durch Wurzelhaare oder Seitenwurzeln völlig befestigt, dann erfolgt das Durchbrechen der Erde nach oben. Dabei bleiben die Keimblätter unterirdisch (hypogäisch) in der Samenhülle stecken oder aber sie entfalten sich oberirdisch (epigäisch). Das erstere ist oft der Fall, wenn die Keimblätter selbst mit Reservestoffen gefüllt sind (Phaseolus multiflorus, Aesculus, Quercus) oder aber dazu dienen die Nährstoffe des Endosperms aufzusaugen (bei Palmen; Scutellum der Gräser). Häufiger werden die mit Nährstoffen gefüllten, oder auch dünnen ergrünenden Keimblätter über die Erde erhoben, oft, nachdem sie vorher noch den Inhalt des Endosperms aufgenommen haben; unterirdisch geschieht das bei vielen Monokotylen, wie auch bei Ricinus u. a., oberirdisch bei vielen

Koniferen. — Die Befreiung der Keimblätter aus der Samenschale wird durch das peitschenförmig umgebogene Ende des hypokotylen Gliedes besorgt, oder aber es ziehen die ebenso gekrümmten Keimblattstiele die Keimblätter aus den Hüllen heraus (Smyrnium, Delphinium). Die Hüllen werden dabei oft noch mit Hilfe einer Anschwellung am Hypokotyl (viele Cucurbitaceen [Fig. 225] u. a.) weiter aufgerissen. Sehr häufig folgt der oberirdischen Entfaltung der Blättchen eine Verkürzung der Wurzel Diese wird in eigenartiger Weise durch den Turgor bewirkt, indem dieser die Zellen der Wurzelrinde nicht wie sonst allgemein in der Längsrichtung, sondern in der Querrichtung, senkrecht zur Längsachse, dehnt, wobei die Wurzel sich verdickt und oft sehr ansehnlich verkürzt. Infolgedessen wird das Keimpflänzchen noch einmal tiefer in den Boden hineingezogen und sicherer befestigt. Aber auch ältere Pflanzen, zumal solche mit grundständiger Blattrosette, werden durch derartige Wurzelverkürzung, trotz des Fortwachsens ihrer Stammachse nach oben, immer dicht am Boden gehalten. (Nach den Untersuchungen von Rimbach erreicht die Verkürzung bei *Allium ursinum* oft 30 %, bei *Arum maculatum* 50 %, bei *Oxalis elegans* sogar 70 % der sich verkürzenden Wurzelstrecke.) (127)

Ist für ausreichende Befestigung im Boden gesorgt und sind die ersten grünen Blättchen in gesicherter Lichtstellung entfaltet, dann ist die junge Pflanze zur Ernährung und Weiterentwicklung selbständig befähigt.

ZWEITER TEIL.

Spezielle Botanik.

Die spezielle Botanik ist die spezielle Morphologie und Physiologie der Gewächse. Während der allgemeinen Botanik die Aufgabe zufiel, uns mit den Gesetzen bekannt zu machen, welche die Gestaltung und die Lebensvorgänge im ganzen Pflanzenreich beherrschen, soll uns die spezielle Botanik in die Gestaltung und die Lebensvorgänge der einzelnen Abteilungen des Pflanzenreichs einführen. In der allgemeinen Morphologie waren wir bestrebt, die äußere und innere Gliederung des Pflanzenkörpers phylogenetisch abzuleiten und die Mannigfaltigkeit der Gestalten auf die Grundformen zurückzuführen, aus welchen sie hervorgingen. In der speziellen Morphologie wird es unsere Aufgabe vor allem sein, der Ausbildung zu folgen, welche die Gestalt in den einzelnen Abteilungen des Pflanzenreichs erlangte und die Form bestimmter Pflanzen zu begreifen, indem wir sie in Verbindung mit anderen Formen bringen. So ist auch die Aufgabe der speziellen Morphologie eine phylogenetische und liefert uns den Schlüssel zur Aufstellung eines natürlichen Systems der Organismen; denn als ein natürliches System der Organismen kann nur jenes gelten, das auf ihrer wirklichen Verwandtschaft fußt. Freilich wird jedes von uns aufgestellte natürliche System nur ein sehr unvollkommenes sein, da wir den phylogenetischen Zusammenhang nicht direkt feststellen, sondern nur indirekt aus dem morphologischen Vergleich erschließen müssen. Die Aufgabe, die wir uns stellen, ist aber an sich ebenso richtig als berechtigt.

Einem solchen natürlichen System der Organismen, welches nach dem wirklichen Zusammenhang zwischen den Wesen sucht, stehen die künstlichen Systeme gegenüber, welche von vornherein nur ein praktisches Ziel ins Auge fassen und die Wesen so gruppieren wollen, daß man jedes derselben möglichst leicht auffinden oder bestimmen könne. Von allen künstlichen Systemen früherer Zeiten kommt für uns nur noch das von Carl Linné im Jahre 1735 aufgestellte sogen. Sexualsystem in Betracht.

Linné verwertete ausschließlich Merkmale, welche sich auf die Verhältnisse der Geschlechtsorgane beziehen und unterschied danach in seinem Sexualsystem im ganzen 24 Klassen von Pflanzen. In der letzten 24. Klasse vereinigte er alle Gewächse ohne deutlich sichtbare Geschlechtsorgane und nannte sie Kryptogamen; es waren von denselben damals nur relativ wenige Formen bekannt und die komplizierten Fortpflanzungsverhältnisse dieser großen Gewächsgruppe lagen noch in tiefem Dunkel. Den Kryptogamen stehen die übrigen 23 Klassen als Phanerogamen oder Pflanzen mit deutlich sichtbaren Geschlechtsorganen in Blüten gegenüber. Die Phanerogamenklassen unterschied Linné zunächst nach der Verteilung der Geschlechter in den Blüten in solche mit Zwitterblüten (Klasse I—XX) und solche mit eingeschlechtigen oder polygamen Blüten (XXI—XXIII). Die zwitterblütigen teilte er weiter in drei Gruppen ein, Pflanzen mit freien Staubgefäßen (I—XV), solche mit verwachsenen Staubgefäßen (XVI—XIX) und solche, deren Staubgefäße mit dem Fruchtknoten verwachsen sind (XX); die erste dieser drei Gruppen weiterhin nach der Zahl, der Insertion und den Längenverhältnissen der Staubgefäße. Jede der 24 Klassen gliederte er in Ordnungen nach ähnlichen Ge-

sichtspunkten. Manche der so erhaltenen Klassen und Ordnungen entsprechen natürlichen Verwandtschaftsgruppen, welche aber bunt durcheinander gewürfelt im System stehen, die meisten Klassen und Ordnungen aber enthalten Pflanzen, welche phylogenetisch einander sehr fern stehen.

Bereits LINNÉ fühlte aber auch das Bedürfnis, natürliche Pflanzenfamilien aufzustellen (im Jahre 1738) und sie nach ihrer „Verwandtschaft" anzuordnen. So lange aber an die Unwandelbarkeit der Species geglaubt wurde, hatte die Bezeichnung Verwandtschaft und Familie in einem System der Organismen nur eine mystische Bedeutung. Sie bedeutete tatsächlich weiter nichts als eine Zusammenstellung ähnlich aussehender Wesen. Erst durch die Descendenzlehre hat das natürliche System der Organismen eine reale Grundlage gewonnen.

Das System, welches für die nachfolgende Darstellung zu Grunde gelegt werden soll, ist das von ALEXANDER BRAUN aufgestellte, von EICHLER und anderen weiter ausgebildete natürliche System.

Wir haben danach zunächst zu unterscheiden zwischen Kryptogamen als untere Stufe und Phanerogamen als obere Stufe des Gewächsreiches.

Erste Abteilung.

Kryptogamen.

Die Kryptogamen umfassen eine außerordentliche Fülle der verschiedenartigsten Pflanzenformen, von den einfachsten einzelligen Wesen ausgehend bis zu hoch entwickelten, in Stengel, Blätter und Wurzeln gegliederten Gewächsen, welche sämtlich darin von den Phanerogamen sich unterscheiden, daß sie sich mittels Sporen verbreiten, während die Phanerogamen dies durch Samen tun. Bei den Phanerogamen ist allerdings auch die Sporenbildung vorhanden, allein nicht die Sporen sind es, sondern ein späteres aus ihnen hervorgegangenes Gebilde, eben der Samen, der sich erst von der Mutterpflanze loslöst, um den Ausgangspunkt für die Endwicklung eines neuen Individuums abzugeben. Demgemäß sind Samen vielzellige Gebilde, die in ihrem Innern die vielzellige Anlage oder den Embryo der Pflanze umschließen, während die Sporen, welche sich bei den Kryptogamen von der Mutterpflanze loslösen und den Ausgangspunkt des neuen selbständigen Individuums abgeben, einzellige Gebilde sind. Die Kryptogamen können daher auch als Sporenpflanzen oder Sporophyten, die Phanerogamen als Samenpflanzen oder Spermaphyten bezeichnet werden, jedoch empfiehlt es sich, die alten eingebürgerten Bezeichnungen festzuhalten.

Die Kryptogamen gliedern sich in folgende Hauptgruppen:

I. Die Thallophyten, Thalluspflanzen,

enthalten mannigfaltige Pflanzengestalten, welche einen einzelligen oder einen mehrzelligen, mehr oder weniger reich verzweigten Thallus vorstellen. Die

Fortpflanzung geschieht ungeschlechtlich oder geschlechtlich, meist ohne bestimmte Aufeinanderfolge beider Reproduktionsarten.

II. Die Archegoniaten, Archegoniumpflanzen,

legen ihre Entwicklung in zwei regelmäßig miteinander abwechselnden Generationen zurück. Die ungeschlechtliche Generation bildet Sporen und wird daher Sporophyt genannt. Aus den Sporen geht die geschlechtliche Generation, Gametophyt genannt, hervor, welche Geschlechtsorgane von charakteristischem Bau, männliche oder Antheridien, weibliche oder Archegonien erzeugt. Aus der befruchteten Eizelle der letzteren geht wiederum der Sporophyt hervor. Hierher gehören

1. Die Bryophyten oder Moospflanzen, deren Gametophyt einesteils Formen mit blattartigem Thallus, andernteils schon kormophyte Formen mit deutlicher Gliederung in Stengel und Blätter, aber noch ohne echte Wurzeln und ohne Leitbündel oder wenigstens mit sehr einfach gebauten Leitbündeln aufweist, während der Sporophyt eine gestielte oder ungestielte, auf der geschlechtlichen Moospflanze halbparasitisch heranreifende Sporenkapsel vorstellt.

2. Die Pteridophyten oder Farnpflanzen, deren Gametophyt einen kleinen Thallus bildet, während der Sporophyt Gliederung in Stengel, Blätter und Wurzeln, mit echten Gefäßbündeln, also schon den Aufbau der Phanerogamen besitzt.

Thallophyten und Bryophyten werden auch als Zellenpflanzen den Pteridophyten oder Gefäßkryptogamen gegenüber gestellt, und die letzteren zusammen mit den Phanerogamen als Gefäßpflanzen bezeichnet. Die Bryophyten und Pteridophyten dürften als gesondert weiter entwickelte Stämme ihren gemeinsamen Ursprung aus höher stehenden Thallophyten genommen haben.

I.

Thallophyta.

Die Thallophyten gliedern sich in folgende natürliche Verwandtschaftsklassen:

1. *Flagellata*, Flagellaten.
2. *Myxomycetes*, Schleimpilze.
3. *Bacteria*, Bakterien.
4. *Cyanophyceae*, Blaugrüne Algen.
5. *Diatomeae*, Kieselalgen.
6. *Peridineae*, Peridineen.
7. *Conjugatae*, Konjugaten.
8. *Chlorophyceae*, Grünalgen.
9. *Phaeophyceae*, Braunalgen.
10. *Rhodophyceae*, Rotalgen.
11. *Characeae*, Armleuchtergewächse.
12. *Hyphomycetes*, Fadenpilze.

Abgesehen von den Flagellaten, welche pflanzliche und tierische Eigenschaften in sich vereinigen und als eine gemeinsame Gruppe beider Organismenreihen betrachtet werden können, unterschied man früher die Thallophyten in 2 Hauptgruppen, *Algen* oder *Algae* und *Pilze* oder *Fungi*. Die Algen sind Thallophyten, welche assimilierende Chromatophoren mit Farbstoffen, vor allem Chlorophyll, besitzen und dementsprechend zu selbständiger Ernährungsweise befähigt erscheinen, während die Pilze keine solchen Farbstoffe enthalten und saprophytische oder parasitische Lebensweise führen.

Zu den Algen würden demnach die Klassen 4—11 zu rechnen sein, zu den Pilzen dagegen die Schleimpilze, Bakterien und Fadenpilze. Die Einteilung in Algen und Pilze hat aber nur physiologischen, keinen phylogenetischen Wert, da sie die natürlichen Verwandtschaftsbeziehungen der einzelnen Klassen untereinander nicht zum Ausdruck bringt.

Diesen 12 Klassen reihen wir als 13. Klasse die *Flechten, Lichenes* an, deren Thallus eine Symbiose von Fadenpilzen mit Algen vorstellt. Vom streng systematischen Standpunkte aus müssen die Flechtenpilze in das System der Fadenpilze, die Flechtenalgen unter die Algen eingereiht werden; andererseits zeigen die Flechten so viel Übereinstimmendes in Bau und Lebensweise, daß eine zusammenfassende Behandlung derselben für unsere Zwecke vorzuziehen ist.

Da die obigen Klassen größtenteils scharf abgegrenzt erscheinen, so ist über ihre verwandtschaftlichen Beziehungen wenig Sicheres auszusagen. Bakterien und Cyanophyceen stehen als selbständige Gruppen abseits von den übrigen; die Konjugaten können als ein Seitenzweig aus gemeinsamer Wurzel der Grünalgen betrachtet werden, die hochorganisierten Characeen und vielleicht auch die Rotalgen von höher stehenden Grünalgen sich herausgebildet haben. Die Fadenpilze leiten sich als farblose Formen von Grünalgen, vielleicht auch von Florideen ab. Die Grünalgen und Braunalgen in ihren einfachsten einzelligen Vertretern sowie auch die Diatomeen, Peridineen und Myxomyceten deuten auf Flagellaten als Ausgangsformen ihrer phylogenetischen Entwicklung hin.

Allgemein verbreiten und vermehren sich die Thallophyten durch ungeschlechtlich erzeugte Sporen von verschiedener Ausbildungsweise bei den einzelnen Gruppen; daneben tritt aber auch, allerdings nicht bei sämtlichen Klassen, geschlechtliche Fortpflanzung auf. Diese Fortpflanzung besteht im einfachsten Fall in der Vereinigung oder Kopulation oder Konjugation zweier gleichgestalteter Sexualzellen oder Gameten zu einer einzigen Zelle, der Zygospore oder Zygote. Bei manchen höherstehenden Formen aber erscheinen die Gameten differenziert in kleine männliche Zellen, Spermatozoiden und größere weibliche Zellen, Eier oder Oosphären, und aus der Verschmelzung eines Eies mit einem Spermatozoid geht eine sogen. Oospore hervor. Die erstere Form der sexuellen Fortpflanzung oder Befruchtung wird Isogamie, die letztere Oogamie genannt; beide sind durch Übergangsformen miteinder verbunden. Man nimmt an, daß die Sexualzellen aus ungeschlechtlichen Sporen phylogenetisch hervorgegangen sind, und daß die ungeschlechtliche Vermehrung aus der einfachen Zellteilung entstanden ist.

Während bei gewissen Thallophyten ausschließlich ungeschlechtliche, bei anderen nur geschlechtliche Fortpflanzung stattfindet, kommen bei vielen beide Formen der Fortpflanzung vor, sei es an derselben Pflanze neben- oder nacheinander, oder sei es in aufeinanderfolgenden getrennten Generationen. Im allgemeinen ist aber bei den Thallophyten keine regelmäßige Aufeinanderfolge von ungeschlechtlichen und geschlechtlichen Generationen vorhanden, da äußere Faktoren für die Art der Fortpflanzung von wichtigem Einfluß sind (1). Nur bei einigen wenigen Gruppen (den Rotalgen und gewissen Fadenpilzen) folgt regelmäßig auf eine geschlechtliche Generation (Gametophyt) eine ungeschlechtliche (Sporophyt) in ähnlicher Weise wie bei allen Bryophyten und Pteridophyten ein solcher Generationswechsel vorhanden ist.

Klasse I.

Flagellata, Flagellaten (2).

Die Flagellaten bilden eine sehr formenreiche Gruppe einzelliger, meist wasserbewohnender Organismen, welche pflanzliche und tierische Eigenschaften in sich vereinigen und als Ausgangsformen einerseits für einzellige Thallophyten, andererseits für Protozoën betrachtet werden können.

Der kontraktile oder amöboid sich bewegende Protoplast dieser Organismen ist nach außen durch eine dichtere Plasmamembran, nicht durch eine feste abgeschiedene Zellhaut, abgegrenzt. Er besitzt eine oder mehrere Cilien (Geißeln, Flagellen) als Bewegungsorgane, führt einen Zellkern, pulsierende Vakuolen und bei vielen Arten wohl ausgebildete grüne, gelbe oder gelbbraune Chromatophoren, vermag also dann selbständig zu assimilieren, ist aber gleichzeitig zu saprophytischer oder auch animalischer Lebensweise, die den farblosen Arten ausschließlich zukommt, befähigt. Die Aufnahme fester Nahrungspartikelchen kann entweder an jeder Stelle der Körperoberfläche oder nur an besonderen in Ein- oder Zweizahl vorhandenen Mundstellen erfolgen.

Für gewisse Arten ist festgestellt, daß sie sowohl in chlorophyllführenden als auch in farblosen Formen mit reduzierten Chromatophoren je nach dem Wechsel der Ernährungsbedingungen auftreten, so z. B. für die grüne *Euglena gracilis* (Fig. 244) (3).

Die Vermehrung geschieht auf rein vegetativem Wege durch Längsteilung. Bei vielen werden dickwandige Dauercysten als ruhende Sporen erzeugt, während sexuelle Fortpflanzung fehlt.

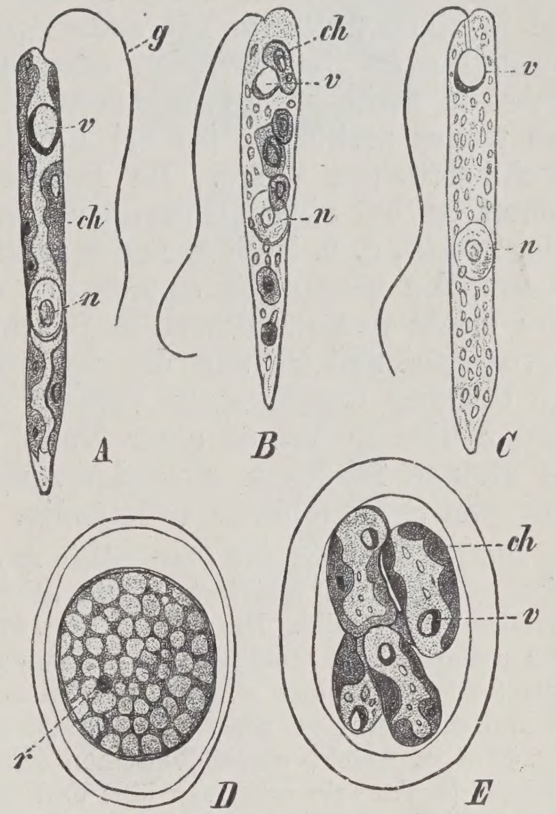


Fig. 244. Euglena gracilis. *A* Form mit grünen Chromatophoren *ch*, *n* Zellkern, *v* Vakuole mit rotem Augenfleck, *g* Geißel. *B* Halbsaprophytische Form mit kleinen grünen Chromatophoren. *C* Farblose saprophytische Form, bei Lichtabschluß in Nährlösung erzogen. *D* Dauercyste der Form *C*, *r* roter Augenfleck, *E* Keimung der Dauercyste der Form *A* in 4 später austretenden Tochterzellen. *A*, *C* Vergr. 630, *B* 650, *D*, *E* 1000. (Nach ZUMSTEIN.)

Klasse II.

Myxomycetes, Schleimpilze (4).

Die Schleimpilze bilden eine selbständige Gruppe von niederen Thallophyten; sie nehmen ebenfalls eine Mittelstellung zwischen Pflanzen und Tieren ein und wurden daher auch als *Mycetozoa* oder *Pilztiere* bezeichnet. Sie sind in zahlreichen Arten über die ganze Erde verbreitet. Im vegetativen Zustande bestehen die Schleimpilze aus nackten, saprophytisch sich ernährenden Protoplasmamassen, den Plasmodien, welche zahlreiche kleine Zellkerne enthalten, des Chlorophylls vollständig ermangeln und als Reservestoff keine Stärke, sondern Glukogen führen. Die Plasmodien (S. 48) finden sich mit Vorliebe auf dem Boden der Wälder, auf abgefallenen Blättern,

auf und in faulendem Holz. Sie kriechen unter Formänderung im Substrat umher, indem sie Pseudopodien oder Fortsätze an ihrer Peripherie aussenden, die wieder miteinander verschmelzen können. Zur Sporenbildung wandert das Plasmodium aus dem Substrat hervor, kommt zur Ruhe und wandelt sich je nach den Gattungen in einen einzigen oder in zahlreiche, dicht nebeneinander stehende Fruchtkörper um. Jeder Fruchtkörper bildet an der Peripherie eine Hülle, Peridium; sein vielkerniges Protoplasma teilt sich durch Zerklüftung in zahlreiche kleine, mit Membran umkleidete und je einen Zellkern führende Sporen, entweder erst nach Abschluß der Kernteilungen (bei *Trichia*), oder aber noch während der Kernteilung zunächst in mehrkernige Segmente, die dann schließlich in einkernige Sporen sich weiter zerklüften (so bei *Fuligo*). Die Sporen entstehen somit auf ungeschlechtlichem Wege. Im Innern der Sporenbehälter oder Sporangien kommt es bei vielen Gattungen auch zur Ausbildung eines Capillitiums (Fig. 246 *B*), d. h. isolierter oder netzförmig verbundener feiner Röhrchen oder Fasern, die neben den Sporen aus dem Plasma entstehen. Bei der Fruchtreife bricht das Peridium des Sporangiums auf, das Capillitium streckt sich hervor (Fig. 245 *B*) und die Sporen werden durch den Wind ausgestäubt. Die Gattung *Ceratiomyxa* verhält sich insofern einfacher, als die Fruchtkörper hier nicht mit einer Hülle bedeckt sind, sondern ihre Sporen frei auf kleinen Stielchen sitzend erzeugt werden. Sexuelle Fortpflanzung fehlt den Schleimpilzen vollständig.

Die Entwicklung der Plasmodien aus den Sporen sei an dem Beispiel von *Chondrioderma difforme* erläutert, einem sehr häufigen, auf faulenden Blättern, Mist usw. lebenden Schleimpilz. Die Sporen (Fig. 59 *a*) können in einem Dekokt von Kohlblättern oder anderen Pflanzenteilen zur Keimung gebracht werden. Der aus der Sporenhaut austretende Protoplast erzeugt an seinem vorderen Ende eine lange Cilie oder Geißel als Bewegungsorgan und wird so zu einer Flagellaten ähnlichen Schwärmspore (Fig. 59 *c—g*), welche einen deutlichen Zellkern am vorderen Ende, am hinteren Ende eine pulsierende Vakuole erkennen läßt und im Wasser umher schwimmt. Nach einiger Zeit wird die Cilie eingezogen und die Schwärmspore geht in den Zustand der Myxamöbe (Fig. 59 *ik*) über. Die Amöben können sich durch Teilung vermehren. Unter ungünstigen Entwicklungsbedingungen umgeben sie sich mit Membran und bilden Ruhezustände, sogen. Mikrocysten, welche unter günstigen Bedingungen wieder Schwärmsporen austreten lassen. Die Myxamöben treten nach einiger Zeit zu mehreren dicht zusammen (Fig. 59 *l*) und verschmelzen so zu kleinen Plasmodien (Fig. 59 *m*), diese zu größeren (Fig. 59 *n*), wobei aber die Kerne nicht miteinander kopulieren. Amöben und Plasmodien ernähren sich aus aufgenommenen Nahrungskörperchen und zeigen lebhafte Plasmaströmungen. Nach einigen Tagen wandelt sich das Plasmodium in die kleinen weißen Fruchtkörper um, deren doppelte Wandung aus einem äußeren kalkhaltigen, brüchigen Peridium und einer inneren dünnen Haut besteht und außer den zahlreichen Sporen ein schwach entwickeltes Capillitium umschließt.

In ähnlicher Weise verläuft auch die Entwicklung der übrigen Schleimpilze. Die stattlichsten Plasmodien, oft von über einen Fuß Durchmesser von lebhaft gelber Farbe und rahmartiger Beschaffenheit, bildet *Fuligo varians* (*Aethalium septicum*), die als sogen. Lohblüte im Sommer auf feuchter Gerberlohe sehr verbreitet ist. Auf trockenem Substrat können die Plasmodien dieses Schleimpilzes zu kugeligen oder strangartigen Dauerzuständen, sogen. Sklerotien sich umwandeln, um bei Zutritt von Feuchtigkeit aus diesen wieder in Plasmodienform auszutreten. Schließlich wird das ganze Plasmodium zu einem weißlichen, gelblichen oder braunen, kuchenförmigen, trockenen Fruchtkörper welcher eine stark kalkhaltige Hülle besitzt, im Innern durch zahlreiche Wandungen gefächert ist, von einem fädigen Capillitium mit unregelmäßigen, Kalkkörnchen enthaltenden Blasen durchzogen wird und zahlreiche violettschwarze Sporen umschließt. Dieses sogen. Aethalium ist somit ein aus zahlreichen verschmolzenen Einzelsporangien zusammengesetzter Fruchtkörper, während bei den meisten übrigen Schleimpilzen die Sporangien getrennt ausgebildet werden.

Bau und Beschaffenheit der Sporangien geben die wichtigsten Merkmale zur Unterscheidung der einzelnen Formen ab. Die meist braunen oder ockergelben Sporangien sind kugelig, oval oder auch cylindrisch, gestielt (Fig. 245, 247) oder ungestielt (Fig. 246). Gewöhnlich öffnen sie sich durch Absprengung oder Zerfall des oberen Teiles der Wandung, während der untere als Becher zurückbleibt (Fig. 245 *B*, Fig. 246 *A*); bei *Cribraria* (Fig. 245 *C*), deren Fruchtkörper kein Capillitium enthält, wird der obere Teil gitterartig durchbrochen, bei *Stemonitis* (Fig. 245 *A*) hingegen zerfällt das ganze Peridium und das stehen bleibende Capillitium entspringt einer Columella, der Fortsetzung des Stiels.

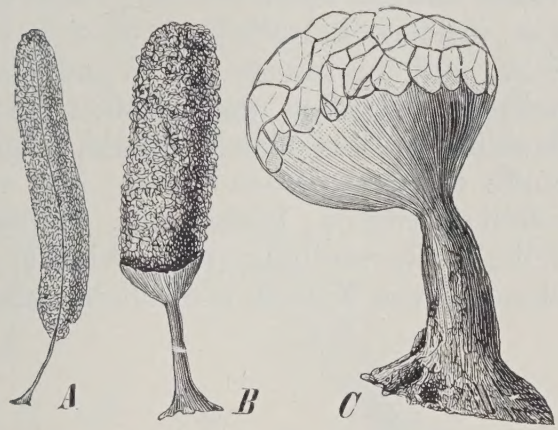


Fig. 245. Reife geöffnete Fruchtkörper nach Entleerung der Sporen *A* von Stemonitis fusca. Vergr. 10. *B* von Arcyria punicea. Vergr. 12. *C* von Cribraria rufa. Vergr. 32.

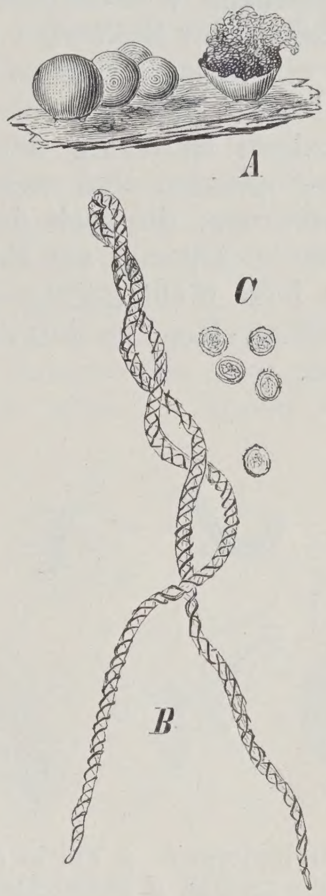


Fig. 246. Trichia varia. *A* Geschlossenes und geöffnetes Sporangium. Vergr. 6. *B* Capillitiumfaser. Vergr. 240. *C* Sporen. Vergr. 240.

Fig. 247. Leocarpus fragilis. Gesellige Einzelsporangien auf Moos. Nat. Gr.

Zu den wenigen parasitären Myxomyceten gehört die *Plasmodiophora Brassicae* [5], welche die sogen. Kohlhernie an Brassica-Arten, knollenartige Verdickungen am Strunk und an den Nebenwurzeln der befallenen Kohlpflanzen verursacht. Ihre mehrkernigen Myxamöben leben in größerer Anzahl in den Zellen dieser Wucherungen und zwar in den Vakuolen des lebendigen Plasmas derselben, verschmelzen schließlich nach Aufzehrung des Inhalts der Wirtszellen zu Plasmodien. Diese teilen sich dann nach wiederholter Kernteilung in zahlreiche behäutete Sporen, die bei der Verwesung der Pflanzen frei werden. Die Sporen keimen wie bei Chondrioderma, die Myxamöben dringen wieder in die Wurzeln junger Pflanzen ein. Eine Peridiumbildung findet also nicht statt, so daß der Pilz einen einfacher organisierten oder infolge der parasitären Lebensweise in der Sporangienbildung reduzierten Schleimpilz vorstellt.

Klasse III.

Bacteria, Bakterien [6].

Die Bakterien stellen sehr einfach gebaute, einzellige oder fadenförmige niedere Organismen dar, welche im allgemeinen wie die Schleimpilze des

grünen Farbstoffes ermangeln und meist saprophytische oder parasitische Lebensweise führen. Sie sind in enormer Arten- und Individuenzahl über die ganze Erde, in der Atmosphäre, im Wasser, im Boden, ferner auf und in toten oder lebenden Pflanzen und Tieren verbreitet. Man bezeichnet sie auch als Spaltpilze oder Schizomycetes, weil die Vermehrung ihrer einzelligen Formen nur durch Zweiteilung oder Spaltung der Zellen sich vollzieht, eine Vermehrungsweise, die übrigens auch bei den anderen einzelligen Pflanzen wiederkehrt.

Die Zellen der Bakterien sind von einer dünnen Membran umgeben und enthalten ein meist farbloses Protoplasma, welches bei Plasmolyse sich von der Wand ganz oder teilweise zurückzieht, und im Innern des Wandbelegs einen einzigen Saftraum oder auch mehrere Vakuolen umschließen kann. In den Protoplasten sind zwar körnige Gebilde in Ein- oder Mehrzahl, sogen. Chromatinkörner, die sich durch Farbstoffe intensiv färben lassen, und von verschiedenen Autoren als Zellkerne gedeutet werden, beobachtet, indessen ist es bis jetzt nicht gelungen, unzweifelhafte Kernteilung (Karyokinese) an ihnen nachzuweisen, so daß das Vorhandensein von Kernen noch nicht sichergestellt ist.

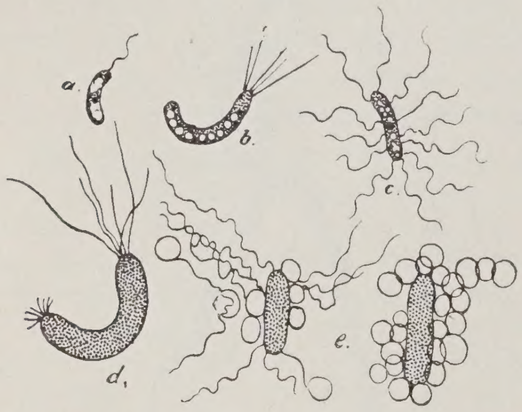


Fig. 248. Geißeltypen. *a* Vibrio cholerae. *b*, *d* Spirillum undula. *d* Entwicklung eines neuen Geißelbüschels bei der Teilung. *c* Bacillus Typhi. *e* Bacillus subtilis. Vergr. 2250. Nach A. Fischer.

Fig. 249. Cladothrix dichotoma. Bildung der Schwärmstäbchen aus den Fadenzellen. Vergr. 1000. Nach A. Fischer.

Die Bakterien sind zum größten Teil außerordentlich winzige Organismen und es gehören zu ihnen überhaupt die kleinsten bekannten Lebewesen. So messen die kugeligen Zellen der kleinsten Mikrococcusarten im Durchmesser nur 0,0005 mm, die stäbchenförmigen Zellen des Tuberkelbacillus nur 0,002—0,004 mm Länge, der Querdurchmesser der meisten Arten etwa 0,001 mm.

Die einfachste Form der Spaltpilze wird durch winzige kugelrunde Zellen, Kokken, repräsentiert. Formen mit stäbchenförmigen Zellen werden als Bacterium oder als Bacillus bezeichnet, Stäbchen mit schwach schraubiger Krümmung heißen Vibrio, stärker gekrümmte Spirillum, gerade Zellfäden Leptothrix, schraubige Zellfäden Spirochaete. Die höchste Entwicklungsstufe der Spaltpilze stellen Zellfäden dar, welche eine unechte Verzweigung aufweisen. Die einzelligen Kokken, Stäbchen, Vibrionen können nach der Teilung in Zellketten vereinigt bleiben. Häufig kommt es vor, daß die Zellmembranen gallertartig aufquellen und daß so die Zellen oder Zellketten in Gallerte eingebettet erscheinen. Solche Zustände heißen Zoogloea.

Viele Bakterien sind durch Eigenbewegung ausgezeichnet, welche durch

Schwingungen und Kontraktionen von feinen Plasmacilien vermittelt wird. Diese Geißeln sind nach A. FISCHER entweder peritrich über die Oberfläche verteilt (Heubacillus Fig. 250*a*, *d*; Typhusbacillus 248*c*; Tetanusbacillus 253*e*), oder sie entspringen von einem Punkte aus, entweder als Einzelgeißel, monotrich, oder als Geißelbüschel, lophotrich. Polare Einzelgeißel hat der Cholerabacillus (Fig. 248 *a*), ein polares Geißelbüschel Spirillum undula (Fig. 248 *b*, *d*), ein seitenständiges Geißelbüschel die Schwärmzellen von Cladothrix (Fig. 249). Die Geißelbüschel können sich zu zöpfchenartigen Gebilden zusammendrehen, sie werden niemals eingezogen, sondern gehen vor der Sporenbildung oder durch ungünstige Einflüsse, oft unter vorheriger Einrollung (Fig. 248 *e*) zu Grunde.

Die Vermehrung geschieht auf vegetativem Wege durch eine sehr ausgiebige Zweiteilung der Zellen, die Erhaltung der Art und die Verbreitung durch ungeschlechtliche Bildung von Dauersporen, welche als Endosporen (Fig. 250 *c*; 252 *e*, *f*) entstehen, wohl überall in der Weise, daß im Innern des Protoplasmas in der Mitte oder an einem Ende der Zelle die Spore von dem peripherischen, unverbrauchten Plasma sich abgrenzt und mit derber Membran umgibt. Die Mutterzellmembran geht nach der Reife der Sporen durch Verquellen zu Grunde. Sporen sind aber nicht bei allen Arten nachgewiesen.

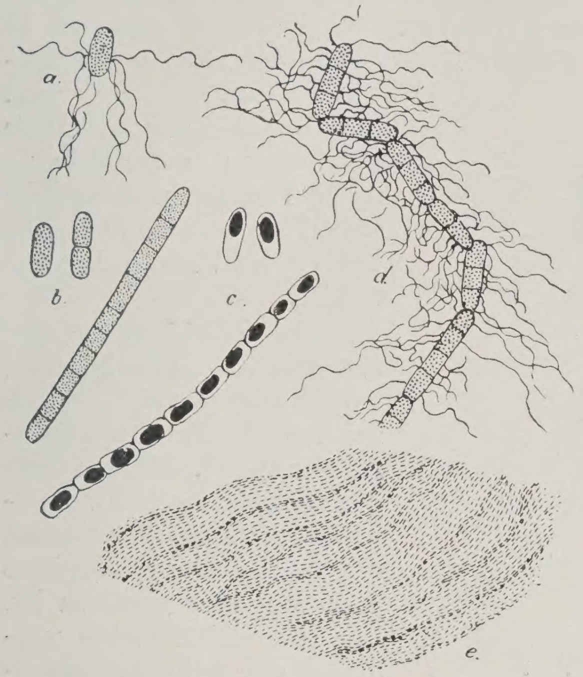


Fig. 250. Bacillus subtilis. *a*, *d* Bewegliches Stäbchen und Kette, *b* unbewegliche Stäbchen und Kette, *c* Sporen aus der Kahmhaut *e*. Vergr. *a*—*d* 1500, *e* 250. Aus A. FISCHER, Vorles. über Bakterien.

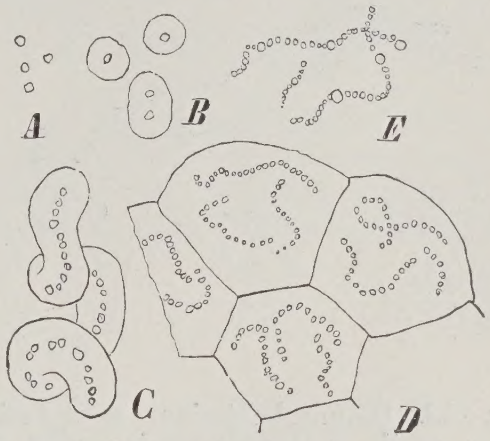


Fig. 251. Leuconostoc mesenterioides. *A* Zellen ohne Gallerthülle. *B*, *C* Bildung der Gallertkörper. *D* Teil einer erwachsenen Zoogloea. *E* Rosenkranzartige Fäden der Zoogloea. Vergr. 520. Nach VAN TIEGHEM.

Als Beispiel für den Entwicklungsgang einer Bakterie sei der Heubacillus, *Bacillus subtilis* (Fig. 250), gewählt, welcher sich in dem Extrakt, den man durch Kochen von Heu gewinnt, in der Regel einstellt. Die Sporen bleiben trotz des Kochens lebensfähig und keimen zunächst zu peritrich begeißelten schwärmenden Stäbchen, die sich teilen und auch in kurzen Ketten zusammenhaften. An der Oberfläche der Flüssigkeit gehen die schwärmenden Stäbchen über in ruhende geißellose, die sich in lange geschlängelte Ketten weiterteilen. Die Zellketten legen sich zu einer sogen. Kahmhaut, eine besondere Form von Zoogloeabildung, zusammen. Nach Erschöpfung der Nährstoffe tritt dann die Sporenbildung ein.

Obwohl der Formenkreis der Bakterien ein sehr einfacher ist, weisen die einzelnen, morphologisch oft kaum zu unterscheidenden Arten eine ungemeine Mannigfaltigkeit in ihrem Stoffwechsel, in ihrer Lebensweise auf. Die meisten Bakterien haben Sauerstoff zu ihrer Atmung nötig wie die übrigen Pflanzen, sind also aërob; manche

können aber auch ohne Sauerstoff sich weiter entwickeln, während gewisse Arten, wie z. B. die Buttersäurebakterien, der Starrkrampfbacillus streng anaërob nur bei Abschluß von Sauerstoff gedeihen (vgl. S. 195).

Wir unterscheiden saprophytische und parasitische Arten, obwohl eine scharfe Trennung oft nicht möglich ist und die letzeren in Kulturen auf geeigneten Substraten auch die Lebensweise der ersteren führen können.

Zu den saprophytischen Bakterien gehören zunächst die wasserbewohnenden Formen, an deren Spitze die überall verbreitete morphologisch am höchsten stehende *Cladothrix dichotoma* zu nennen ist. Ihre feinen aus stäbchenförmigen Zellen bestehenden, unecht verzweigten festsitzenden Fäden bilden schleimige Überzüge an Algen, Steinen, Holzwerk in unreinen Gewässern. Die Vermehrung geschieht durch cilientragende Schwärmzellen, die durch Teilung aus den Fadenzellen entstehen und durch Verquellen der Fadenscheide frei werden (Fig 249). Nach dem Schwärmen setzen sich die Zellen fest und wachsen zu neuen Fäden heran.

Sehr häufig ist ferner der Brunnenfaden, *Crenothrix Kühniana*, aus unverzweigten festsitzenden, aber leicht zerbrechlichen Fäden bestehend. Er entwickelt sich oft in solchen Massen in Wasserleitungen, daß die Röhren sich verstopfen und das Trinkwasser ungenießbar wird. Bei Crenothrix zerfallen die Fadenzellen in der Scheide durch Teilung in zahlreiche geißellose rundliche Zellen, welche die Vermehrung besorgen.

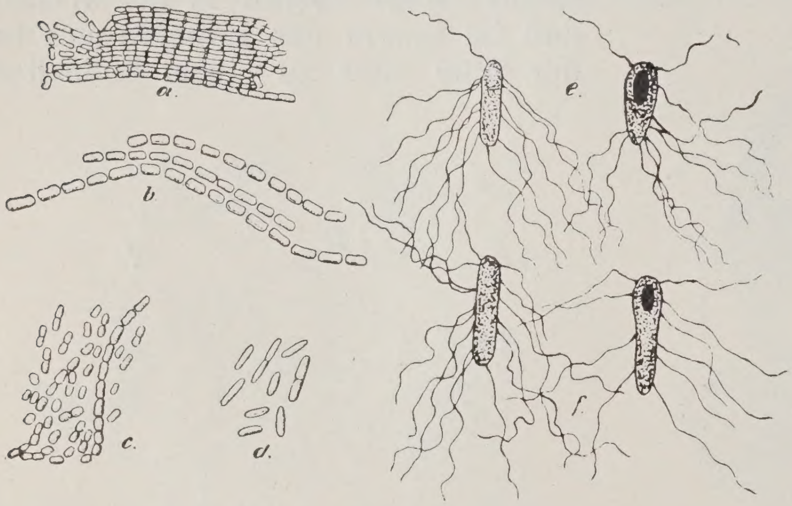


Fig. 252. Gärungsbakterien. *a—c* Essigbakterien. *a* Bacillus aceti. *b* Bac. Pasteurianus. *c* Bac. Kützingianus. *d* Bac. acidi lactici, Milchsäurebacillus. *e* Clostridium butyricum, Buttersäurebakterie. *f* Plectridium paludosum, Gärungsbakterie aus Sumpfwasser. Vergr. 1000. Aus A. Fischer, Vorles. üb. Bakt.

In Schwefelquellen und am Boden von Gewässern, wo durch Fäulnis organischer Stoffe Schwefelwasserstoff auftritt, siedeln sich die zahlreichen Schwefelbakterien an, unter denen die fadenförmige *Beggiatoa alba* am verbreitetsten ist. Die Schwefelbakterien oxydieren den Schwefelwasserstoff und speichern den abgeschiedenen Schwefel in Form von rundlichen Körnchen in ihren Zellen.

Die in Wiesensümpfen und Bächen häufige fadenförmige *Leptothrix ochracea* oxydiert dagegen als sogen. Eisenbakterie kohlensaures Eisenoxydul zu Eisenoxydhydrat, das in den Fadenscheiden aufgespeichert wird.

Zu den saprophytischen Bakterien gehören ferner die zymogenen oder Gärungsbakterien und die saprogenen oder Fäulnisbakterien. Erstere oxydieren oder vergären hauptsächlich Kohlehydrate, letztere dagegen spalten stickstoffhaltige tierische und pflanzliche Substanzen, Eiweiß, Fleisch usw. unter Abscheidung übelriechender Gase.

So vermittelt *Leuconostoc mesenterioides* (Fig. 251) die Schleimgärung des Rübenzuckers. Es bildet große Froschlaich ähnliche Schleimklumpen, indem die rosenkranzartigen Zellketten sich mit Gallerthüllen umgeben. Die *Essigbakterien* (Fig. 252 *a*, *b*, *c*) oxydieren den Alkohol zu Essigsäure. Die Vergärung von Zucker zu Milchsäure wird durch den Formenkreis des *Bacillus acidi lactici* (Fig. 252 *d*) bewirkt, die Bildung von Buttersäure aus verschiedenen Kohlehydraten bei Abschluß von Sauerstoff durch *Clostridium butyricum* (Fig. 252 *e*) u. a. vermittelt, während gewisse Sumpfbakterien (Fig. 252 *f*) bei Sauerstoffabschluß die Vergärung der Cellulose zu Methan besorgen. Der häufigste Fäulniserreger auf Fleisch, Eiweiß usw. ist *Bacillus vulgaris*.

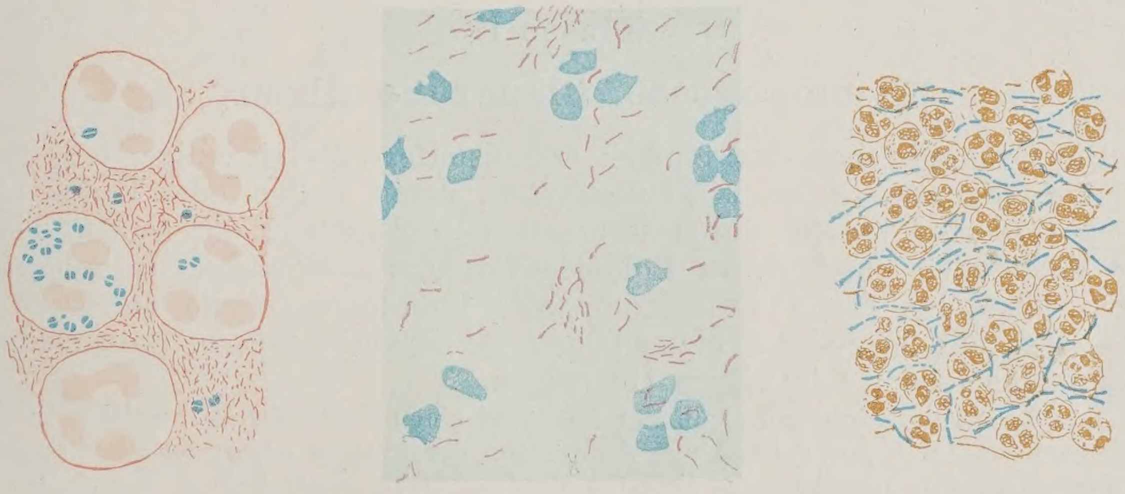
Von den zahlreichen pathogenen Bakterien, deren schädliche Einwirkung auf die Gewebe und das Blut des tierischen und menschlichen Körpers durch Abscheidung von

giftigen Substanzen, Toxinen, bedingt ist, sind als wichtigste Erreger von Infektionskrankheiten folgende zu nennen:

Staphylococcus pyogenes (Fig. 253 *a*), regellose oder traubenförmige Haufen von runden Kokken bildend, ist der häufigste Eitereerreger, ebenso der regelmäßig bei Wundrose oder Erysipel und anderen Eiterungen auftretende, in Ketten wachsende *Streptococcus pyogenes* (Fig. 253 *b*), während *Micrococcus* (*Diplococcus*) *Gonorrhoeae* (Fig. 253 *c* u. 254 *a*), dessen semmelförmige Kokken paarweise nebeneinander liegen, den Tripper verursacht. Im Blut und in den Organen milzbrandiger Tiere findet sich der durch R. KOCH bekannt gewordene *Bacillus Anthracis* (Fig. 253 *d*, 254 *c*), dessen relativ große Stäbchen auch in kurzen Ketten vorkommen und in Kulturen reichlich Endosporen ähnlich wie der Heubacillus bilden. Der im Erdboden verbreitete *Bacillus Tetani* (Fig. 253 *e*) ist der Erreger des Wundstarrkrampfes. Seine geraden peritrich begeißelten Stäbchen wachsen nur in den Wunden selbst; sie bilden die Sporen in ihren keulig angeschwollenen Enden.

Fig. 253. Pathogene Bakterien. *a* Eiterkokken. *b* Erysipelkokken. *c* Tripperkokken. *d* Milzbrandbacillen. *e* Starrkrampfbacillen. *f* Diphtheriebacillen. *g* Tuberkelbacillen. *h* Typhusbacillen. *i* Colonbacillen. *k* Cholerabacillen. Vergr. ca. 1500. (Aus A. FISCHER, Vorles. üb. Bakt.)

Der LÖFFLERsche *Bacillus Diphtheriae* (Fig. 253 *f*) besteht aus kleinen zuweilen kolbig an den Enden verdickten Stäbchen, der KOCHsche *Bacillus tuberculosis* (Fig. 253 *g*,



a *b* *c*

Fig. 254. Färbungspräparate aus ZIEGLERS Lehrbuch d. allg. Pathologie.

a Tripperkokken im Trippersekret, Schleim und Eiterkörperchen mit Kokken (Methylenblau-Eosin). Vergr. 700. — *b* Tuberkelbacillen im Sputum eines Lungenkranken (Fuchsin-Methylenblau). Vergr. 400. — *c* Milzbrandbacillen in Milzbrandpustel (Methylenblau-Vesuvin). Vergr. 350. (Aus A. FISCHER, Vorles. üb. Bakt.)

254 *b*), der sich in allen tuberkulösen Organen und Sekreten, im Sputum, findet, ist ein schlankes, leicht gekrümmtes Stäbchen. Der Unterleibstyphus wird durch die peritrisch begeißelten Stäbchen des *Bacillus typhi* (Fig. 253 *h*) verursacht. Die größte Ähnlichkeit mit letzteren hat der meist unschädliche, stets im Darm des Menschen anwesende Kolon-

bacillus, *Bacillus coli* (Fig. 253 *i*). Ebenfalls durch R. Koch entdeckt wurde der Kommabacillus der asiatischen Cholera, *Vibrio cholerae* (Fig. 253 *k*). Derselbe findet sich nur im Darm in Form kurzer, schraubig gekrümmter Stäbchen mit polarer Einzelgeißel, nicht selten auch in längeren Schraubenketten. *Spirochaete Obermeieri* endlich, lange zarte geißellose, aber dennoch lebhaft bewegliche Schraubenfäden vorstellend, vegetiert als Erreger des Rekurrensfiebers im Blute während der Fieberanfälle.

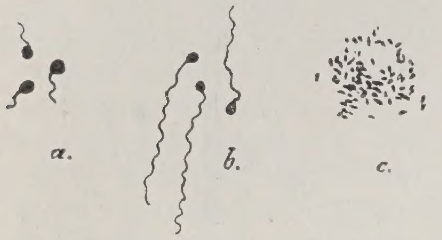


Fig. 255. Salpeterbakterien nach Winogradsky. *a* Nitrosomonas europaea von Zürich. *b* Nitrosomonas javanensis von Java. *c* Nitrobacter aus Quito. Vergr. 1000. (Aus Fischer, Vorles. üb. Bakt.)

Außer diesen bösartigen Parasiten gibt es aber auch zahlreiche, mehr oder weniger harmlose, auf den Schleimhäuten, in der Mundhöhle (Fig. 4), im Darm lebende Arten, so z. B. die im Magen und Darm des Menschen auftretende *Sarcina ventriculi*, welche aus würfelförmigen Klumpen von Kokken besteht.

Sehr eigenartigen Stoffwechsel besitzen die unter dem Namen *Bacillus radicicola* (= Rhizobium Leguminosarum) zusammengefaßten Bakterien, welche in den Wurzelknöllchen der Leguminosen leben und wie auch gewisse Bodenbakterien und Meeresbakterien den freien Stickstoff assimilieren (vgl. S. 185); ferner die im Boden und auch im Meere auftretenden denitrifizierenden Bakterien, welche in ihrem Stoffwechsel Nitrate und Nitrite unter Abscheidung von freiem Stickstoff zersetzen.

Außer den saprophytischen und parasitischen Formen gibt es aber auch gewisse Bakterien, welche, trotzdem sie kein Chlorophyll enthalten, ganz selbständige Ernährung aus anorganischen Verbindungen aufweisen. Es sind dies die im Boden lebenden Nitritbakterien (*Nitrosomonas*) und Nitratbakterien (*Nitrobacter*), von denen erstere Ammoniak zu salpetriger Säure und letztere die salpetrige Säure zu Salpetersäure oxydieren. Beide benutzen als Kohlenstoffquelle die Kohlensäure, kommen also gänzlich ohne organische Substanzen aus (Fig. 255, vgl. S. 174).

Klasse IV.

Cyanophyceae, Blaugrüne Algen (7).

Die Cyanophyceen sind einfach organisierte, teils einzellige, teils fadenförmige, blaugrün gefärbte Thallophyten, deren Zellen oder Fäden häufig durch Gallerte, welche durch fortgesetzte Verquellung der Außenschichten der Membranen entsteht, zu Kolonien vereinigt erscheinen. In zahlreichen Arten über die ganze Erde verbreitet, bewohnen sie die Gewässer oder vegetieren auf feuchtem Schlammboden, an feuchten Felsen, Baumrinden in gallertartigen oder feinfädigen Überzügen.

Ihre Zellen enthalten innerhalb der Zellwand einen Protoplasten, welcher in seiner Differenzierung sich abweichend von demjenigen der übrigen Algen verhält. Man kann in demselben eine peripherische gefärbte Rindenschicht unterscheiden, die als Chromatophor fungiert und außer Chlorophyll auch einen blaugrünen Farbstoff, das Phycocyan, nach welchem die Gruppe ihren Namen erhalten hat, enthält. Innerhalb der gefärbten Zone liegt der farblose Centralkörper, der vielleicht einem Zellkern entspricht. Indessen sind die für typische Kerne charakteristischen Strukturen und Teilungsfiguren, mit Sicherheit wenigstens, nicht nachgewiesen. In der Zelle, namentlich in der peripherischen Zone, treten verschiedenartige Granulationen auf (Cyanophycinkörner, Centralkörner), denen wohl die Rolle von Reservestoffen zukommt.

Die Vermehrung geschieht ausschließlich auf rein vegetativem Wege durch Zellteilung. Bei vielen werden Sporen als Dauerzustände gebildet durch Vergrößerung und starke Wandverdickung einzelner Zellen (Fig. 258).

Wie die Bakterien als Spaltpilze, Schizomyceten, so wurden die blaugrünen Algen als Spaltalgen, Schizophyceen, infolge ihrer Vermehrung durch Teilung oder Spaltung bezeichnet. Beide Gruppen wurden zu einer Klasse der Spaltpflanzen, Schizophyta,

vereinigt; indessen ist die Ableitung der Bakterien von den Spaltalgen zweifelhaft, die Geißeln und Endosporen der ersteren fehlen den letzteren.

Die einfachsten Cyanophyceen bestehen aus blaugrünen rundlichen Zellen, so die Arten der Gattung *Chroococcus*. Bei *Gloeocapsa* (Fig. 256), deren Arten meist in gallertigem blaugrünem Überzuge an feuchten Felsen und Mauern auftreten, bleiben die Zellen nach der Teilung durch geschichtete Gallerthüllen zu mehrzelligen Kolonien verbunden.

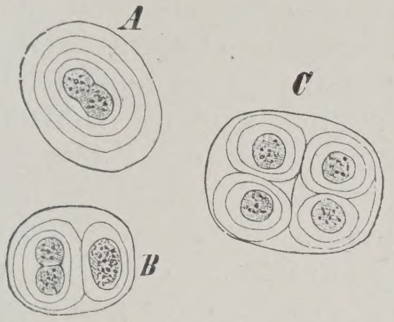


Fig. 256. Gloeocapsa polydermatica. *A* Beginn der Teilung, *B* links kurz nach der Teilung. Vergr. 540.

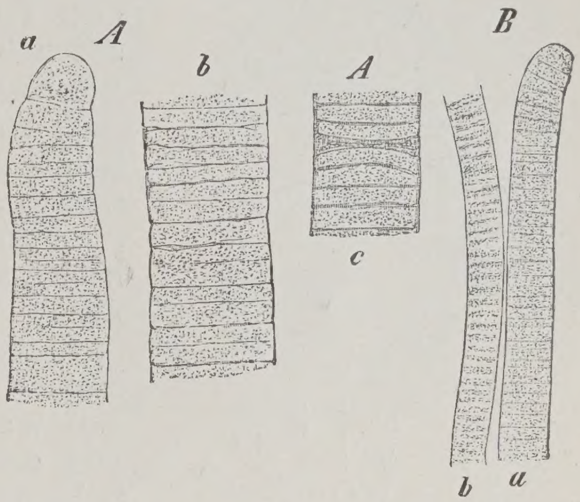


Fig. 257. *A* Oscillaria princeps, *a* Endzelle, *b*, *c* Stücke aus dem Innern des Fadens. In *c* ist eine abgestorbene Zelle zwischen den lebenden zu sehen. *B* Osc. Froelichii. Vergr. 540.

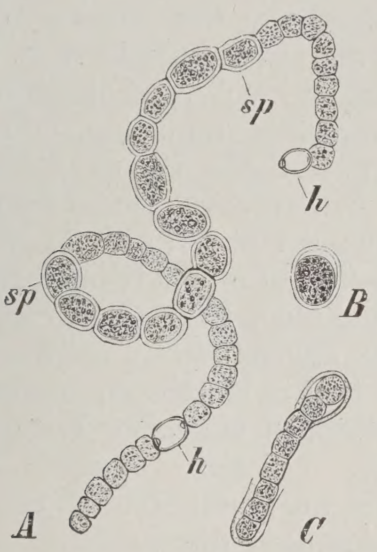


Fig. 258. Nostoc Linckii. Im Wasser frei schwimmende Art. *A* Fadenstück mit zwei Heterocysten *h* und einer größeren Zahl von Sporen *sp*. *B* isolierte Spore, die Keimung beginnend. *C* junger Faden aus der Spore hervorgegangen. Vergr. 650. (Nach BORNET.)

Unter den fadenförmigen Arten sind die überall im Wasser oder auf Schlammboden häufigen *Oscillaria*-Arten die einfachsten, da sich hier die meist von einer dicken Scheide eingeschlossenen Fäden aus gleichartigen scheibenförmigen Zellen zusammensetzen (Fig. 257). Die Fäden zergliedern sich in kurze Fadenstücke, Hormogonien, die durch den Druck der Scheide nach außen gelangen und zu neuen Fäden heranwachsen.

Bei anderen fadenförmigen Cyanophyceen kommt es zur Ausbildung von besonderen Zellen, Grenzzellen oder Heterocysten, mit degeneriertem Zellinhalt, deren Bedeutung nicht aufgeklärt ist, so z. B. bei den *Nostoc*-Arten (Fig. 258), deren rosenkranzähnliche Fäden durch Gallerte in rundlichen oder unregelmäßigen Kolonien, auf feuchtem Boden oder in Wasser lebend, verbunden bleiben.

Manche Cyanophyceen beteiligen sich an der Zusammensetzung der aus Pilzen und Algen bestehenden Flechten. Einige Arten leben endophytisch in Gewebehöhlungen anderer Pflanzen, so *Anabaena* in *Azolla*, *Nostoc*-Arten in gewissen *Lebermoosen*, in *Wasserlinsen* (*Lemna*), in den Wurzeln von *Cycas* und *Gunnera*.

Klasse V.

Diatomeae, Kieselalgen[8].

Die Diatomeen bilden eine ungemein reichhaltige Klasse von einzelligen Algen, welche teils im süßen Wasser, teils im Meere, teils auf

nassem Boden vegetieren und meist in großer Individuenzahl gesellig auftreten.

Die Zellen leben entweder einzeln oder in Kolonien, entweder frei schwimmend oder auf dünnen, aus Poren ausgeschiedenen Gallertstielchen fest sitzend (Fig. 259). Bei anderen Formen bleiben die Zellen in Bändern oder Zickzackketten durch kurze Gallertstiele oder Polster vereinigt oder sie sind in festsitzende schlauchförmige Gallertröhren eingeschlossen; bei der im Meere lebenden Gattung *Schizonema* endlich sind die zahlreichen Zellen eingebettet in ein oft über 1 dcm großes Gallertlager von zierlicher büschelig verzweigter Form. Die äußere Gestalt der Zellen ist höchst mannigfaltig, kreisrund, elliptisch, stabförmig, keilförmig, gerade oder gebogen, oft regelmäßig bilateral symmetrisch. In hohem Maße charakteristisch ist die Beschaffenheit der Zellwand, die aus zwei Schalen besteht, von denen die eine wie der Deckel einer Schachtel über die andere übergreift (Fig. 3*B*). Die Zelle bietet daher zwei verschiedene Ansichten dar, je nachdem man sie von der Schalenseite (Fig. 3 *A*) oder von der Gürtelbandseite (Fig. 3 *B*) betrachtet. Beide Schalenhälften enthalten meist viel Kieselsäure, die beim Glühen der Zelle auf einem Glimmerplättchen als Skelett zurückbleibt und dabei die äußere Form und Skulptur der Membran vollkommen beibehält. Häufig ist die Membran, besonders auf den Schalenseiten, in zierlicher Weise mit feinen Querrippen, Leisten, Warzen oder Gruben besetzt, oder auch mit Höhlungen oder mit offenen Porenkanälen durchsetzt.

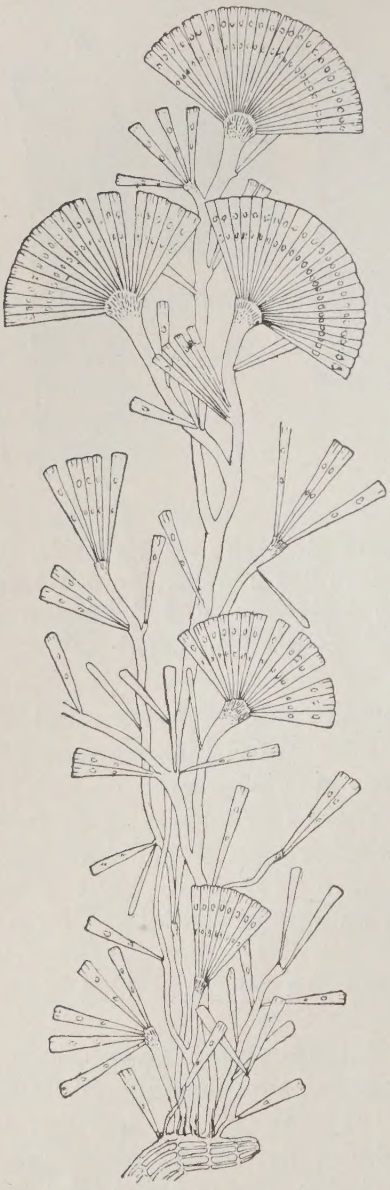


Fig. 259. Licmophora flabellata. Diatomeen-Kolonie mit verzweigten Gallertstielen. (Nach Smith, aus Goebel, Organographie.)

Nach dem Bau der Schalen sind zwei Hauptgruppen von Diatomeen zu unterscheiden, nämlich die Centricae (Fig. 261) mit centrisch gebauter meist kreisrunder und radial oder koncentrisch skulptierter Schalenseite, und die Pennatae mit meist gestreckter und fiedrig skulptierter Schalenseite. Bei manchen Pennaten (Fig. 3) verläuft über die Schalenseite eine von zwei Endknoten ausgehende und in der Mitte zu einem Mittelknoten anschwellende Längslinie, welche einem feinen Spalt in der Membran entspricht. Die Formen mit solcher Mittelnaht (Raphe) zeichnen sich durch eine eigentümliche ruckweise gleitende Fortbewegung aus, deren Zustandekommen auf einen in der Raphe rückwärts fließenden Plasmastrom zurückgeführt wird (vgl. S. 217).

Was den Zellinhalt anbelangt, so befindet sich in der Mitte stets ein deutlicher Zellkern und in dem wandständigen Plasma entweder ein (Fig. 3) oder zwei (Fig. 260) große, flache, oft gelappte oder zahlreiche (Fig. 261) kleinere Chromatophoren von braungelber Farbe. Diese enthalten außer dem grünen Chlorophyllfarbstoff das braune Diatomin. Im Zellinhalt finden sich gewöhnlich einige Tropfen von fettem Öl, das an Stelle von Stärke als Assimilationsprodukt auftritt.

Die Diatomeen vermehren sich auf vegetative Weise durch Längsteilung,

die sich immer nur nach einer Richtung hin vollzieht. Die beiden Schalen werden dabei durch den sich vergrößernden Plasmakörper an den Gürtelbändern auseinander geschoben; jede der beiden Tochterzellen erzeugt je eine neue Schale, welche unter die von der Mutterzelle übernommene Schale mit ihren Rändern eingreift, und alsdann trennen sich die Tochterzellen voneinander. Die beiden Schalen einer Zelle sind somit ungleichalterig. Diese Art der Membranbildung hat, da die verkieselten Wände nicht wachstumsfähig sind, zur Folge, daß die Tochterzellen successive kleiner werden, und dies geht so fort bis zur Erreichung eines gewissen Minimums der Zellgröße. Alsdann findet die Bildung von sogen. Auxosporen statt, die gewöhnlich zwei- bis dreimal größer sind als die Zellen, aus denen sie hervorgegangen, und die bei ihrer Weiterentwicklung somit die Anfangsgröße der Zellen wieder herstellen.

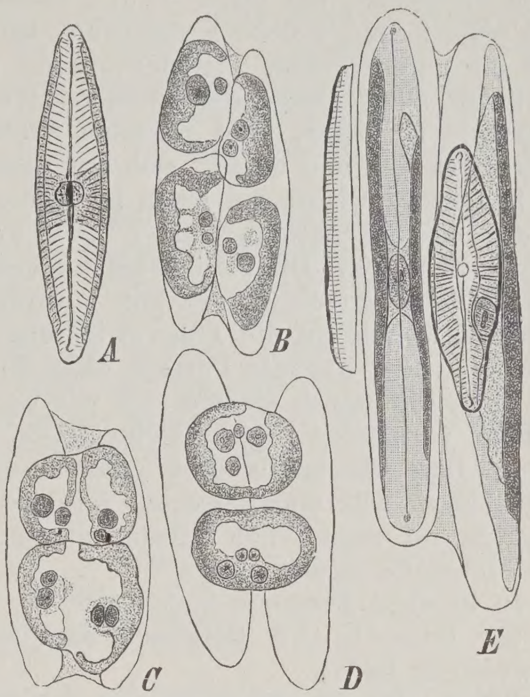


Fig. 260. Auxosporenbildung von Navicula viridula. *A* Zelle von der Schalenseite. *B* zwei Zellen nebeneinander liegend, ihr Inhalt in je zwei Tochterzellen mit zwei Kernen geteilt. *C*, *D* paarweise Kopulation der Tochterzellen zu zwei anfangs vierkernigen Auxosporen. *E* Die beiden herangewachsenen Auxosporen. Von den vier Kernen einer jeden sind die zwei größeren zu einem verschmolzen, die beiden kleineren aufgelöst. Vergr. 500.

Die Bildung der Auxosporen vollzieht sich in mannigfaltiger Weise. Nach G. Karsten sind 4 Haupttypen zu unterscheiden, welche sich indessen sämtlich auf den ersten ursprünglichen Typus von *Rhabdonema arcuatum* zurückführen lassen. Bei

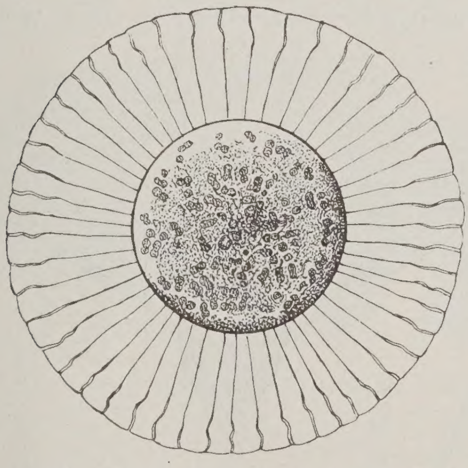


Fig. 261. Planktoniella Sol. Scheibenförmige Planktondiatomee mit fallschirmartigem, von der Gürtelseite entspringendem, hohlem Membranflügel. Vergr. 190. (Nach Schütt.)

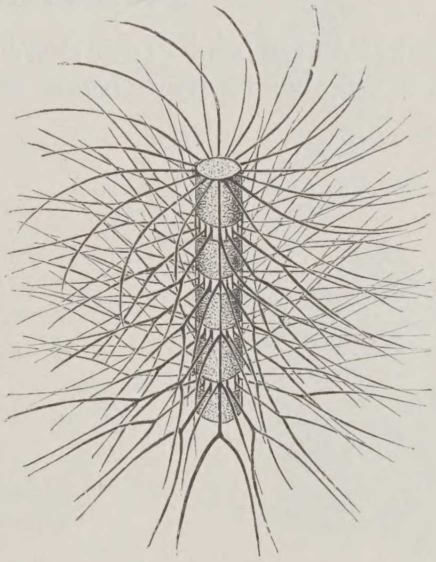


Fig. 262. Bacteriastrum varians. Planktondiatomee. Kette von Zellen mit Borsten als Schwebeapparat. Vergr. 200. (Nach Schütt.)

dieser Art teilt sich eine Mutterzelle in zwei Tochterzellen, welche aus den beiden Schalenhälften heraustreten und direkt zu zwei- bis dreifach größeren Auxosporen auswachsen. Bei vielen Diatomeen herrscht der zweite Typus (Fig. 260): zwei Zellen legen sich nebeneinander, ihr Inhalt teilt sich quer in zwei Tochterzellen, die sich abrunden, aus den

Schalen heraustreten und paarweise zu zwei Auxosporen kopulieren. Der dritte Typus zeigt Bildung von nur einer Auxospore durch Kopulation des Inhalts von zwei Mutterzellen (*Cocconeïs*), der vierte Typus endlich Bildung einer Auxospore aus einer Mutterzelle ohne irgend welche Kopulation (*Melosira*). Es läßt sich aber in dem letzten Falle noch ein unterdrückter Teilungsvorgang in der Mutterzelle nachweisen und es scheint überhaupt allen Auxosporenbildungsarten eine vorausgehende Zellteilung ursprünglich zu grunde zu liegen. Bei gewissen Arten sind Dauersporen beobachtet; der Zellinhalt kontrahiert sich und umgibt sich mit derben Membranen.

Zahlreiche Diatomeen leben im Meere und beteiligen sich in hervorragendem Maße an der Zusammensetzung des Plankton (9), d. h. der an der im Meere frei schwimmenden Lebewelt. Die Planktondiatomeen sind mit besonderen Schwimm- und Schwebeeinrichtungen versehen, oft mit hornförmigen Fortsätzen oder Membranflügeln ausgestattet, welche an die Flugvorrichtungen der Samen erinnern. Es sind überwiegend centrische oder pennate Formen ohne Mittelnaht auf der Schalenseite (Fig. 261, 262).

Viele Diatomeen siedeln sich mit Vorliebe an Stellen an, wo verwesende Substanzen reichlich vorhanden sind. Solche Arten können zu saprophytischer Lebensweise übergehen. Ihre Chromatophoren erleiden dabei eine bedeutende Verkleinerung und eine Entfärbung. Für einige marine farblose *Nitzschia*-Arten ist sogar ausschließliche Ernährung von organischen Substanzen und vollständige Reduktion der Chromatophoren und Farbstoffe nachgewiesen (10).

In fossilem Zustande finden sich die Kieselschalen der Diatomeen als Hauptbestandteil der Kieselguhr (Bergmehl oder Infusorienerde), welche zur Dynamitfabrikation Verwendung findet.

Wegen der oft außerordentlich feinen Skulptur der Membran dienen gewisse Arten als Testobjekte zur Prüfung von Mikroskopobjektiven, so namentlich *Pleurosigma angulatum*, dessen ≀-förmig gekrümmte Schalenseite bei starker Vergrößerung rechts und links von der Mittelnaht ein sehr feines Gitterwerk aus sechsseitigen, außen und innen wahrscheinlich durch Poren geöffneten Kammern zusammengesetzt, erkennen läßt.

Klasse VI.

Peridineae, Peridineen (9, 11).

Die Peridineen sind einzellige Thallophyten, welche zum geringeren Teil in Süßwasser, meist aber im Meere leben, wo sie zusammen mit den Diatomeen einen wichtigen

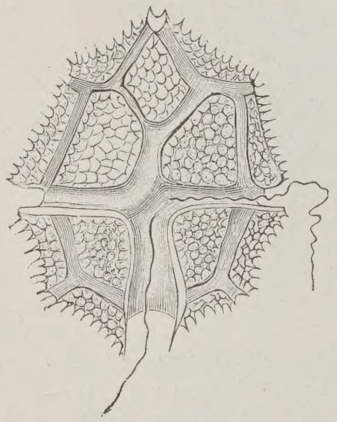


Fig. 263. Peridinium bipes von der Bauchseite gesehen. Vergr. 750. (Nach SCHILLING.)

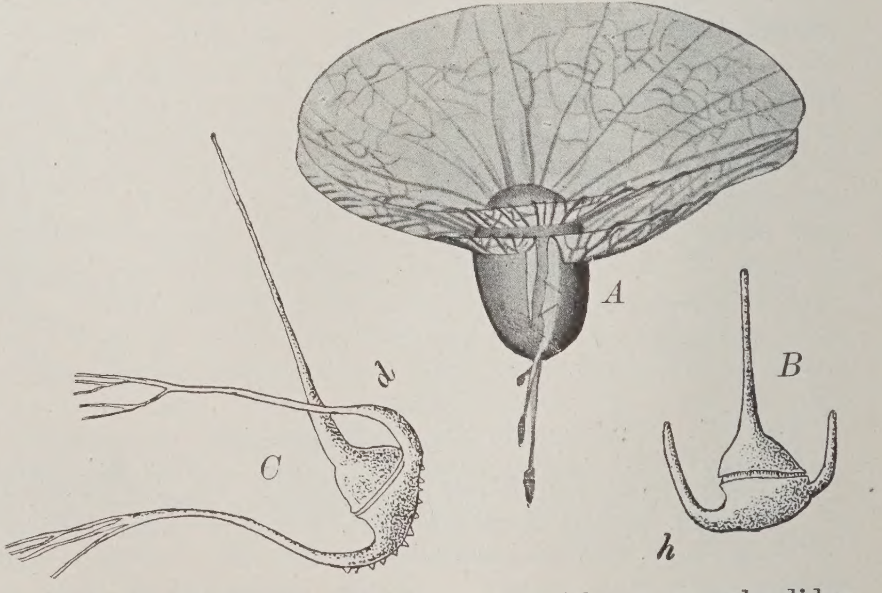


Fig. 264. Planktonperidineen. *A* Ornithocercus splendidus. Vergr. 150. *B*, *C* Ceratium-Arten. Vergr. 125. (Nach SCHÜTT.)

Bestandteil des Plankton abgeben. Ihr Zellplasma enthält einen Zellkern, einen komplizierten Vakuolenapparat und zarte, gelbe, plattenförmige Chromatophoren. Charakte-

ristisch sind ferner zwei lange Plasmacilien oder Geißeln, die auf der Bauchseite entspringen, sich in zwei zueinander senkrechte Furchen der Oberfläche legen und die Bewegung der Zellen vermitteln (Fig. 263). Nur wenige Peridineen sind nackt, die meisten mit einer eigentümlich skulptierten, aus Platten bestehenden Cellulosemembran umgeben. Die Vermehrung geschieht durch Teilung. Im Herbst bilden sie dickwandige Cysten als Dauerzustand für den Winter. Konjugation ist nicht beobachtet. Die Planktonperidineen sind mit besonderen Einrichtungen zum Schweben im Wasser ausgestattet, z. B. mit fallschirmartigen Membranauswüchsen (Fig. 264 *A*) oder mit hornförmigen Ausstülpungen (Fig. 264 *B*, *C*).

Außer den wie Algen sich ernährenden Formen mit assimilierenden gelben Chromatophoren gibt es aber auch farblose Formen, deren Chromatophoren als farblose Leukoplasten ausgebildet sind. Diese Arten, die mit den Farbstoff führenden sehr nahe verwandt sind und sich aus letzteren entwickelt haben mögen, leben somit saprophytisch oder nach Art der Tiere. Bei *Gymnodinium hyalinum*, einer farblosen und nackten Süßwasserform, ist eine den Myxomyceten ähnliche Lebensweise nachgewiesen. Der Protoplast verliert zum Zwecke der Nahrungsaufnahme seine Geißeln und wird zu einer Amöbe, welche kleine Algenzellen in sich aufnimmt und verdaut.

Klasse VII.

Conjugatae, Konjugaten (12).

Die Konjugaten bilden eine formenreiche, selbständige Gruppe von freizelligen oder einfach fadenförmigen, im Süßwasser lebenden grünen Algen. Von den übrigen grünen Algen, den Chlorophyceen, sind sie scharf unterschieden durch ihre eigenartige sexuelle Fortpflanzung, die in der Konjugation zweier gleichwertiger Zellen zu einer Zygospore besteht und

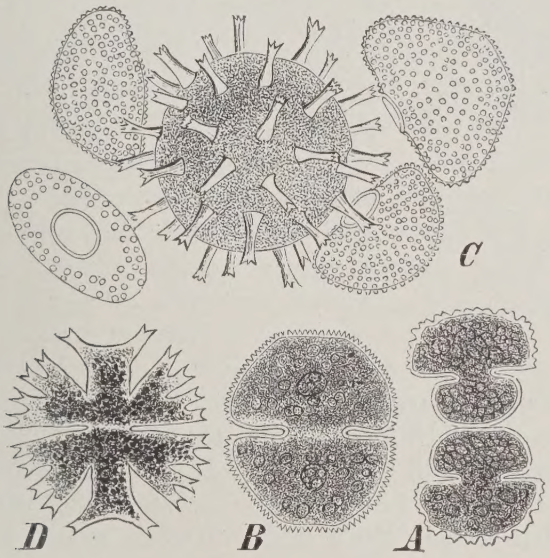


Fig. 265. *A* Cosmarium coelatum in Teilung. *B* Cosmarium Botrytis. *C* desgl. mit fertiger Zygospore. *D* Micrasterias Crux melitensis. (Nach Ralfs.)

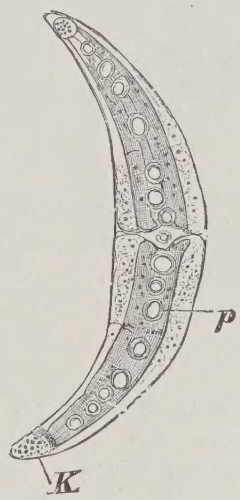


Fig. 266. Closterium moniliferum. *p* Pyrenoide der beiden Chromatophoren, *K* kristallführende Endbläschen. Kern in der Mitte. Vergr. 240.

zur Bezeichnung der Gruppe geführt hat, ferner durch den Mangel ungeschlechtlicher Sporenbildung und endlich auch durch ihre kompliziert gestalteten grünen Chromatophoren. In den einzelligen Formen zeigen sie gewisse Ähnlichkeiten mit den Diatomeen.

1. Die **Desmidiaceen** umfassen die einzelligen Formen; sie gehören mit zu den zierlichsten Algen und weisen ebenso wie die Diatomeen eine ungemeine Mannigfaltigkeit der Gestalt auf (Fig. 265 u. 266). Ihre Zellen bestehen aus zwei symmetrischen Hälften, die in der Regel durch eine Einschnürung, den Isthmus, sich voneinander ab-

grenzen. Jede Hälfte enthält ein großes strahliges, unregelmäßig umgrenztes oder aus mehreren Platten zusammengesetztes Chromatophor mit einigen Pyrenoiden oder Stärkeherden; in der Mitte der Zelle, in der Einschnürung, ist der Kern gelegen. Die Gesamtform ist sehr verschieden, bald abgerundet eckig (z. B. *Cosmarium*, Fig. 265 *A*, *B*), bald sternförmig (*Micrasterias*, Fig. 265 *D*). Häufig ist die Membran mit stachel- oder warzenartigen Prominenzen versehen und öfters von Poren durchsetzt. Einige Gattungen weisen keine Einschnürung zwischen den beiden Hälften der Zelle auf, so z. B. das mondsichelförmige *Closterium moniliferum* (Fig. 266), dessen zwei Chromatophoren aus je sechs miteinander in der Längsachse verbundenen Platten bestehen und an dessen Zellenden je eine Vakuole mit winzigen in Bewegung befindlichen Gipskristallen vorhanden ist. Manche Desmidieen zeichnen sich durch heliotaktische Bewegungen aus, sie stoßen an ihren Enden aus Poren der Membran feine Schleimfäden aus, mittels deren sie sich fortschieben und in die Richtung des einfallenden Lichtstrahles stellen können.

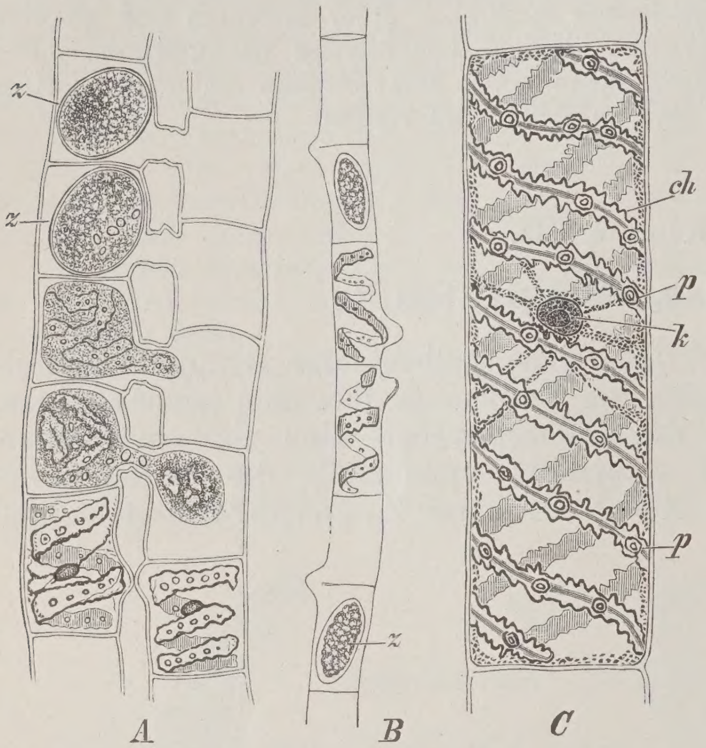


Fig. 267. *A* Kopulation von Spirogyra quinina. *z* Zygosporen. Vergr. 240. *B* desgl. von Sp. longata. Vergr. 150. *C* Zelle von Sp. jugalis. *k* Kern, *ch* Chromatophor, *p* Pyrenoide oder Amylumherde. Vergr. 256.

Die Vermehrung geschieht durch Teilung, die durch eine in der Mitte der Zelle, in der Einschnürung, auftretende Querwand nach der Kernteilung vollzogen wird. Jede Tochterzelle wächst sodann zur Größe und Gestalt der Mutterzelle heran, indem sie nach der Teilungsfläche zu eine neue Zellhälfte ausbildet (Fig. 265 *A*). Nach Beendigung dieses „Ergänzungswachstums" trennen sich die Zellen voneinander.

Bei den Desmidieen findet die Kopulation außerhalb der Zellhüllen statt, zwei Zellen legen sich nebeneinander, umgeben sich mit Gallerte, die Zellwand bricht in der Einschnürung auf und beide heraustretende Protoplasten vereinigen sich zur Zygospore, deren Wandung häufig durch Stachelbildungen ausgezeichnet ist (Fig. 265 *C*). Neben den reifen Sporen liegen die vier leeren Membranhälften.

2. Unter den fadenförmigen Konjugaten, welche zu der Familie der **Zygnemaceen** vereinigt werden, ist am bekanntesten die Gattung *Spirogyra*, deren zahlreiche Arten als frei schwimmende fädige grüne Watten in stehenden Gewässern häufig auftreten. Die aus längeren oder kürzeren Zellen bestehenden Fäden wachsen in die Länge durch Teilung und Streckung aller Zellen. Jede Zelle führt in der Mitte einen Kern und ein oder mehrere wandständige, bandförmige spiralige Chromatophoren (Fig. 267 *C*). Bei der Gattung *Zygnema* sind zwei sternförmige vielstrahlige Chlorophyllkörper vorhanden.

Wenn Spirogyra sich zur Konjugation anschickt, so treiben die Zellen zweier dicht nebeneinander liegenden Fäden je eine Hervorstülpung nach dem anderen Faden zu, derart, daß die Fortsätze je zweier gegenüberliegender Zellen aufeinander stoßen (Fig. 267 *A*). Die Querwand der so entstehenden Verbindungsbrücke wird alsdann resorbiert und der gesamte sich abrundende Inhalt einer Zelle wandert in die gegenüberliegende Zelle hinüber, Plasma und Kerne verschmelzen miteinander, während dagegen die Chlorophyllbänder nicht in Vereinigung treten, sondern in der ruhenden Zelle erhalten bleiben, in der übertretenden aber desorganisiert werden. Aus den konjugierten Protoplasten wird eine sich abrundende, mit dicker Membran umkleidete, dicht mit Fett und rotbraunen Schleimkugeln sich anfüllende Zygospore, welche später bei der Keimung zu einem neuen Faden schlauchförmig austreibt. Diese Art der Konju-

gation bezeichnet man als leiterförmige (Fig. 267 *A*), sie ist den meisten Arten eigentümlich, während bei anderen Arten sogen. seitliche Konjugation eintritt, indem an ein und demselben Faden je zwei aufeinander folgende Zellen durch Austreiben von Fortsätzen in der Nähe der sie trennenden Querwand in Verbindung treten (Fig. 267 *B*).

Klasse VIII.

Chlorophyceae, Grünalgen (13, 14).

Zu den Chlorophyceen gehört die Mehrzahl der mit grünen Chromatophoren versehenen Algen. Nach der Beschaffenheit des Thallus gliedern sie sich naturgemäß in drei Ordnungen, von denen die *Protococcoideen* die einfachsten Formen, einzellige oder Zellkolonien bildende, umfaßt; die *Confervoideen* dagegen solche mit einfachen oder verzweigten Zellfäden oder Zellflächen enthält; während die *Siphoneen* einen sehr verschiedenartig entwickelten Thallus aufweisen, welcher meist aus einer einzigen großen vielkernigen verzweigten Zelle besteht.

Die geschlechtliche Fortpflanzung, die übrigens bei manchen Arten bislang noch nicht nachgewiesen worden ist, besteht im einfachsten Fall in der Kopulation von gleich gestalteten Gameten, und zwar im Unterschied zu den Konjugaten, von sogen. Planogameten, d. h. nackten mit Cilien versehenen beweglichen Protoplasten; bei anderen Gattungen aber findet eine Differenzierung der Gameten statt in ruhende weibliche, Eier oder Oosphären, und cilientragende bewegliche männliche oder Spermatozoiden. Innerhalb einer jeden der drei obigen Ordnungen hat dieser Fortschritt von der Isogamie zur Oogamie (Eibefruchtung) stattgefunden.

Außer der geschlechtlichen Fortpflanzung findet ziemlich allgemein auch eine ungeschlechtliche Sporenbildung statt, in Gestalt beweglicher cilientragender, den Planogameten ähnlicher Schwärmsporen (Zoosporen).

Die Zellen, in denen die Schwärmsporen erzeugt werden, heißen Sporangien, die gametenbildenden Gametangien, die Spermatozoiden erzeugenden Antheridien, die Eizellen bildenden Oogonien. Wenn wir die geschlechtliche Fortpflanzung aus der ungeschlechtlichen ableiten, so müssen alle diese Gebilde, auch die gleichnamigen bei den übrigen Klassen der Thallophyten, als homologe angesehen werden.

Außer den drei oben genannten Ordnungen der *Chlorophyceen* besitzen auch die Klassen der *Konjugaten* und der *Characeen* grüne Chromatophoren, können also auch als Grünalgen im weiteren Sinne bezeichnet werden. Die Konjugaten sind aber scharf charakterisiert durch ihre besondere Art der sexuellen Fortpflanzung; die Characeen bilden ebenfalls eine scharf abgegrenzte Gruppe, welche sich von den Chlorophyceen durch die viel höher stehende Gliederung des Thallus und den komplizierten Bau der mit Hülle versehenen weiblichen Organe oder Eiknospen und der Antheridien unterscheiden, während bei den Chlorophyceen die Oogonien- und Antheridienzellen stets ohne eine Hülle steriler Zellen sind.

1. Ordnung. Protococcoideae (15).

Zu den Protococcoideen gehören ausschließlich einzellige, meist frei im Süßwasser schwimmende, in einigen Arten aber auch an feuchten Stellen sich aufhaltende Algen, deren Zellen entweder einzeln leben oder mittels Gallertabscheidung zu Zellfamilien von unbestimmter oder bestimmter Anordnung vereinigt werden. Die Zellen sind von einer Membran umgeben und enthalten ein oder mehrere grüne Chromatophoren und einen Zellkern. Die Vermehrung geschieht bei den einfachsten Formen nur durch Teilung auf vegetativem Wege, bei den meisten aber werden ungeschlechtliche Schwärmsporen gebildet. Sexuelle Fortpflanzung ist bislang nur bei

einem Teil der Gattungen beobachtet worden und besteht in der Kopulation zweier gleicher Planogameten zu einer Zygospore oder Zygote; nur bei zwei Gattungen, Eudorina und Volvox, findet Eibefruchtung statt.

Die einfachsten Formen stellen freilebende Zellen, meist von rundlicher Gestalt, dar die sich nur durch Teilung vermehren. So verhält sich z. B. die in ökologischer Hinsicht interessante Gattung *Chlorella*, deren kleine grüne Zellen symbiotisch in dem Plasma von Infusionstierchen, in den Zellen von Hydra viridis, Spongilla fluviatilis und anderen niederen Tieren leben.

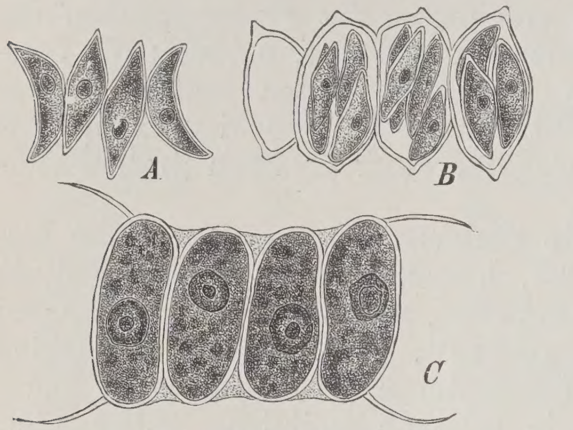


Fig. 268. *A* Scenedesmus acutus. *B* desgl., in Teilung. *C* Scenedesmus caudatus. Vergr. 1000. (Nach Senn.)

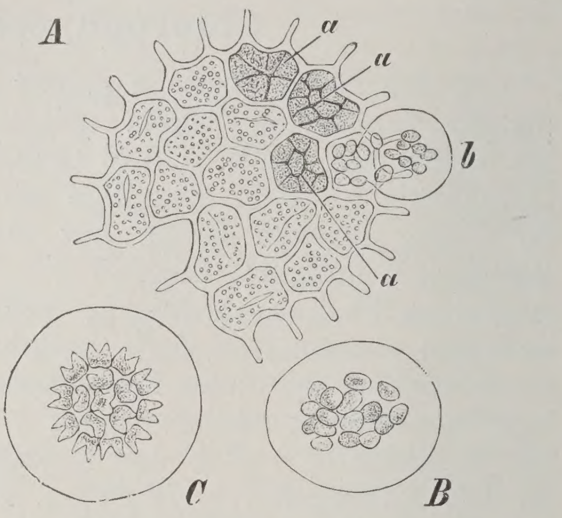


Fig. 269. Pediastrum granulatum. *A* alte Zellfamilie, entleert bis auf die drei Zellen *a*, die Zelle *b* entläßt 16 Schwärmzellen. *B* Zellfamilie nach der Geburt. *C* Zellfamilie $4^1/_2$ Stunden später. Vergr. 300. (Nach Al. Braun.)

Zellfamilien einfachster Art, aus je vier Zellen zusammengesetzt, sind der Gattung *Scenedesmus* eigentümlich. Die häufigste in allen Gewässern verbreitete Art, *Sc. acutus*, hat spindelförmige Zellen, während *Sc. caudatus* an den Endzellen sich durch vier lange hornförmige Membranfortsätze auszeichnet (Fig. 268). Jede Zelle teilt sich der Länge nach in vier Tochterzellen, welche die alte Membran verlassen und eine neue Familie bilden.

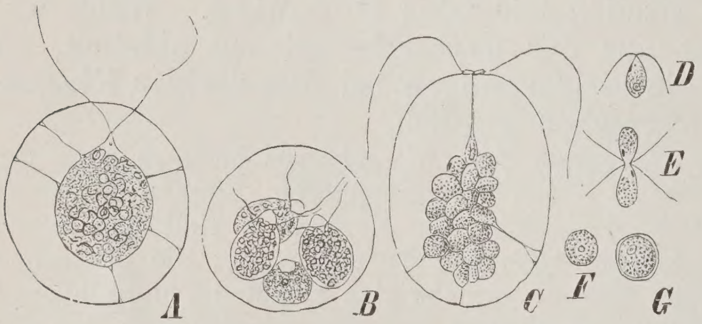


Fig. 270. *A—B* Sphaerella pluvialis. *A* schwärmende Zelle. *B* Bildung der Schwärmsporen. Vergr. 360. *C—G* Sphaerella Bütschlii. *C* Gametenbildung. Vergr. 400. *D* Gamet. *E* Kopulation zweier Gameten. *F*, *G* Zygoten. Vergr. 800. (*C—G* nach Blochmann.)

Während Scenedesmus sich nur durch Teilung vermehrt, findet dagegen bei *Pediastrum* (Fig. 269), dessen Zellen zu zierlichen freischwimmenden tafelförmigen Zellfamilien verbunden sind, Bildung ungeschlechtlicher Schwärmsporen statt, in der Weise, daß der Inhalt einer Zelle in eine Anzahl (bei dem abgebildeten *P. granulatum* in 16) von je zwei Cilien tragenden nackten Schwärmsporen zerfällt, welche, von einer gemeinsamen Blase umgeben, durch einen Riß in der Wandung austreten (Fig. 269 *A*, *b*), sodann in der Blase lebhaft sich bewegen und schließlich zu einer neuen heranwachsenden Zellfamilie sich zusammenlegen. Neben der ungeschlechtlichen tritt bei Pediastrum auch geschlechtliche Fortpflanzung auf. Die Gameten sind den Schwärmsporen ganz ähnlich, nur kleiner und entstehen in den Zellen in größerer Zahl, sie schwimmen frei im Wasser und kopulieren paarweise zu Zygoten. Beide Gameten sind gleichgestaltet. Die Weiterentwicklung der Zygoten zu den Zellfamilien ist noch nicht ganz lückenlos bekannt.

Ganz ähnlich ist auch der Entwicklungsgang des Wassernetzes, *Hydrodictyon utri-*

culatum [15a], einer der zierlichsten freischwimmenden Süßwasseralgen, deren cylindrische Zellen zu einem hohlen, langgestreckten, vielmaschigen Netz verbunden sind.

Während die bisher genannten Typen und ihre Verwandten im vegetativen Zustand ruhende cilienlose Zellen vorstellen, umfaßt dagegen die Familie der *Volvocaceen* Formen mit einzeln lebenden oder zu Kolonien vereinigten Zellen, die von einer zarten Hülle umgeben werden und aus derselben Plasmacilien (meist zwei) hervorstrecken, mittels deren sie frei umherschwimmen. Sie beharren somit während ihres vegetativen Daseins auf dem Stadium, das die meisten Protococcoideen als Schwärmsporen vorübergehend einnehmen. Zu den einfachsten Volvocaceen gehört die Gattung *Sphaerella* (= *Haematococcus*), deren wenige Arten teils in Wasserlachen verbreitet auftreten (besonders *S. pluvialis*) und dieselben infolge des Hämatochromgehalts ihres Plasma oft lebhaft rot färben, teils auf Schneefeldern im hohen Norden und auf den Alpen den sogen. roten Schnee bilden (*S. nivalis*). Die schwärmenden Zellen haben eine weit abstehende Hülle (Fig. 270 *A*) und zwei Cilien. Die ungeschlechtliche Vermehrung vollzieht sich durch Teilung der Zellen in vier ausschwärmende Tochterzellen (*B*), die geschlechtliche Fortpflanzung dagegen durch paarweise Kopulation von kleineren zweiciligen Planogameten, welche in grösserer Zahl (32 oder 64) aus einer Zelle durch Teilung entstehen, zu einer dickwandigen Zygote (*C—G*).

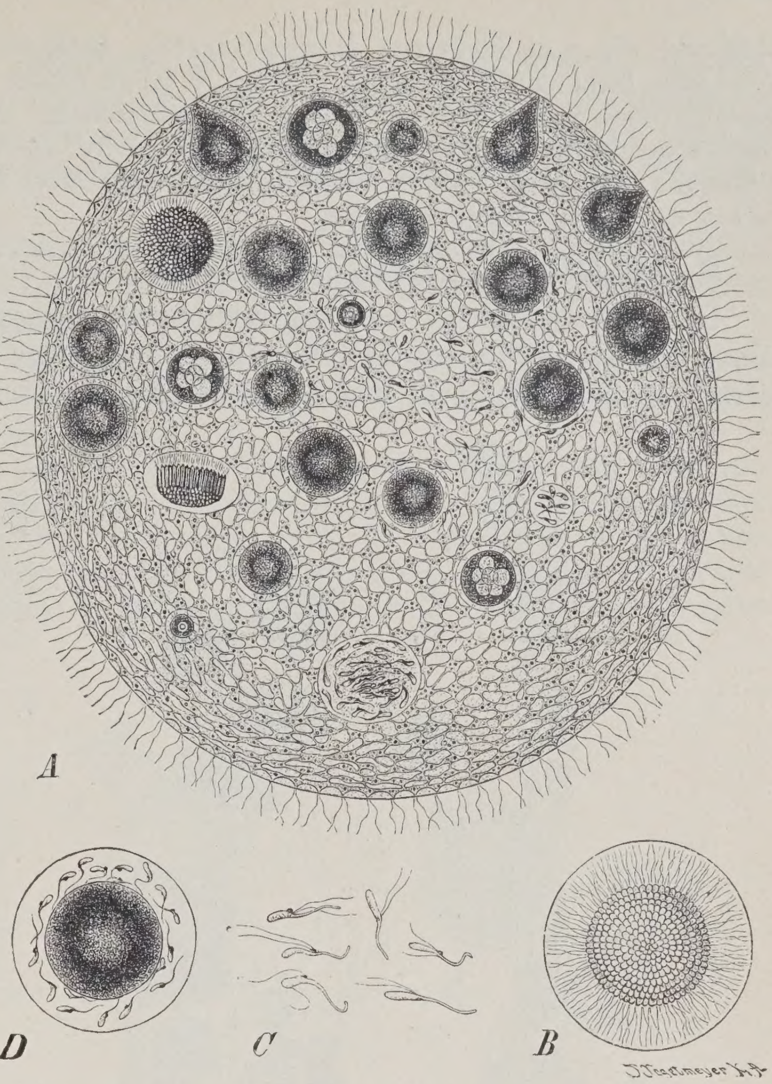


Fig. 271. Volvox globator. *A* Kolonie mit Eizellen und Spermatozoidengruppen in verschiedenen Entwicklungsstadien. Vergr. 165. *B* Spermatozoidenbündel, aus einer Zelle durch Teilung entstanden. Verg. 530. *C* Spermatozoiden. Vergr. 530. *D* Eizelle, in der Gallertmembran von Spermatozoiden umschwärmt. Vergr. 265. (Nach F. Cohn.)

Bei *Volvox* [16] (Fig. 271) dagegen, die als höchst stehende Form der ganzen Ordnung betrachtet werden kann und freischwimmende hohlkugelförmige Kolonien bildet, sind die Geschlechtszellen in Eier und Spermatozoiden differenziert. Die Eizellen entstehen durch Vergrößerung einzelner Koloniezellen, sind groß, grün, unbeweglich und von Gallerte umgeben,

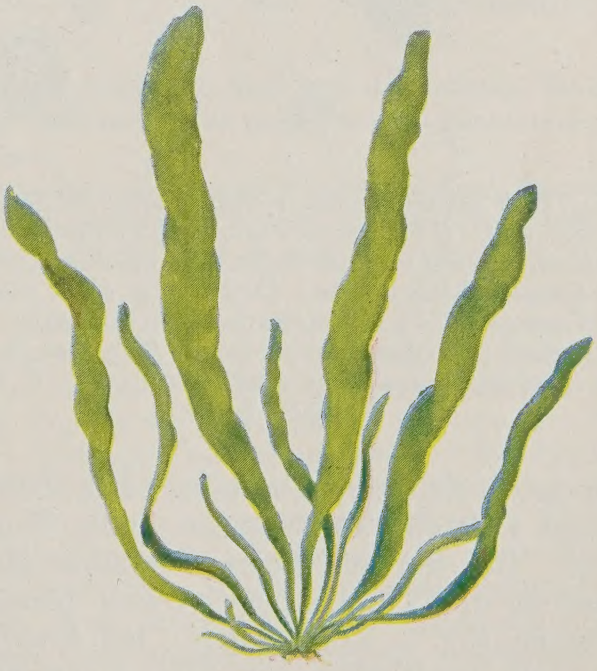


Fig. 272. Enteromorpha compressa. Häufige Grünalge der Nordseeküsten. 1/2 Nat. Gr.

während die viel kleineren langgestreckten, hellgelben Spermatozoiden unter ihrem schmalen farblosen Vorderende seitlich 2 lange Cilien tragen und durch Teilung von Koloniezellen in zahlreiche Tochterzellen entstehen. Nach der Kopulation mit einem Spermatozoid im Innern der Koloniekugel wird die Eizelle zu einer derbwandigen ruhenden Oospore. Volvox vermehrt sich vegetativ durch Teilung einzelner Koloniezellen zu neuen Tochterkolonien.

2. *Ordnung. Confervoideae.*

Die Confervoideen bezeichnen den einzelligen Protococcoideen gegenüber einen Fortschritt in der äußeren Gliederung des Thallus, welcher stets mehrzellig erscheint und in der Mehrzahl der Gattungen aus einfachen oder ver-

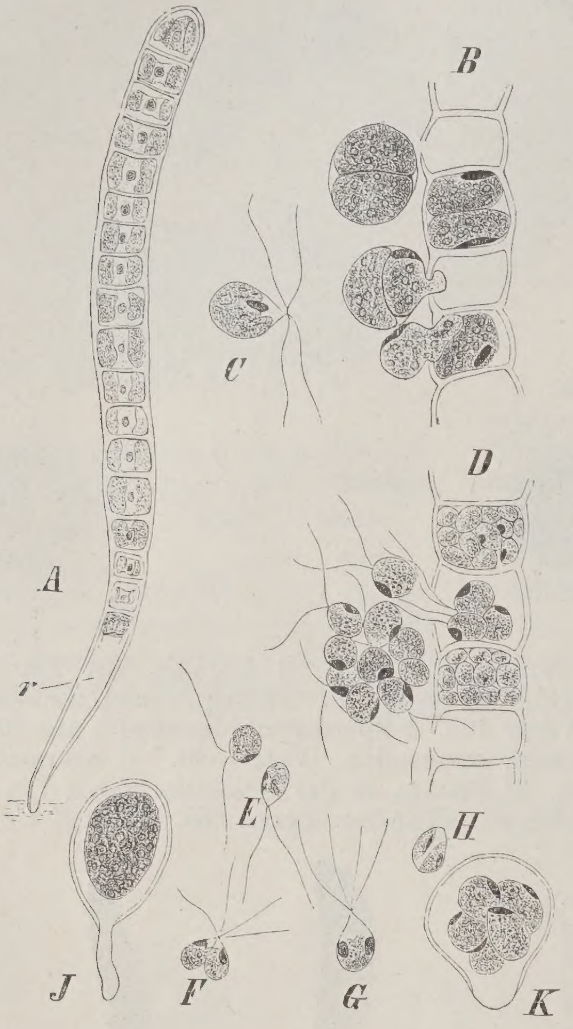


Fig. 273. Ulothrix zonata. *A* junger Faden mit Rhizoidzelle *r*. Vergr. 300. *B* Fadenstück mit ausschlüpfenden Schwärmsporen, zu zwei in jeder Zelle. *C* einzelne Schwärmspore, *D* Gametenbildung und Entleerung eines Fadenstücks. *E* Gameten. *F*, *G* Kopulation der Gameten. *H* Zygote. *J* Zygote nach der Ruheperiode. *K* Zygote, deren Inhalt in Schwärmsporen sich geteilt hat. *B—K* Vergr. 482, nach Dodel.

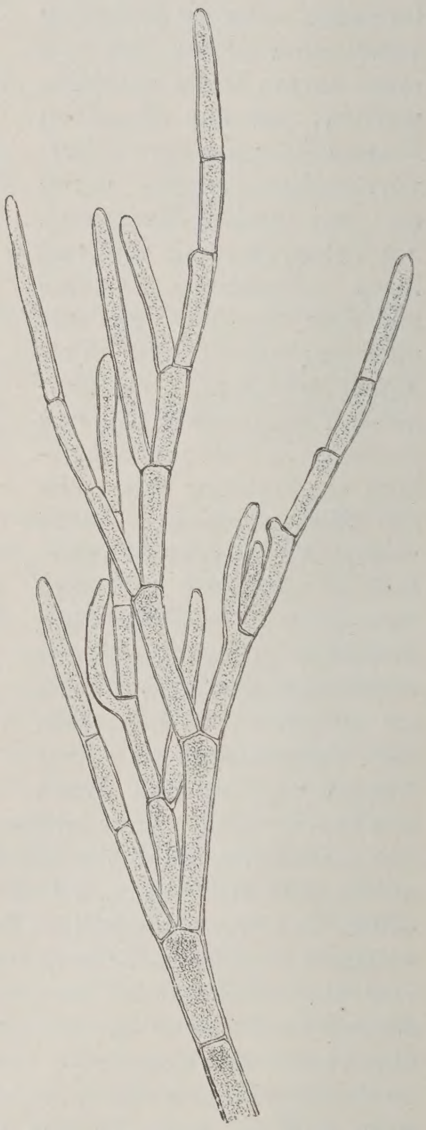


Fig. 274. Stück einer Cladophora glomerata. Vergr. 48.

zweigten Zellreihen besteht. Die Zellfäden sitzen entweder mit einer farblosen Fußzelle am Substrat unter Wasser fest (Fig. 273 *A*) oder schwimmen frei. Bei der im Meere lebenden Gattung *Ulva* (*Ulva lactuca*, *Meersalat*) besteht der Thallus aus großen blattartigen, grünen, zweischichtigen Zellflächen (Fig. 5, Keimpflanze), bei *Enteromorpha* ist er cylindrisch, oder abgeflacht bandförmig (Fig. 272), innen hohl mit einschichtiger Wandung. Die Confervoideen leben im Süßwasser oder im Meere. Nur einige Formen

(*Chroolepideen*) wachsen als Luftalgen an Felsen, Baumstämmen, in den Tropen auch auf Blättern. Hierzu gehört die auf Steinen in Gebirgen wachsende *Trentepohlia* (oder *Chroolepus*) *Jolithus*, deren Zellfäden infolge Hämatochromgehalts rot erscheinen und die einen veilchenartigen Geruch besitzt (Veilchenstein).

Die ungeschlechtliche Fortpflanzung vollzieht sich bei den Confervoideen durch Bildung von cilientragenden Schwärmsporen. Daneben können auch ungeschlechtliche ruhende Dauersporen auftreten.

Die geschlechtliche Fortpflanzung besteht entweder in Kopulation von Planogameten, oder es sind die Geschlechtszellen in ruhende Eizellen und bewegliche Spermatozoiden differenziert.

Ulothrix zonata (Fig. 273 *A*) und *Cladophora glomerata* (Fig. 274 *A*) sind zwei der häufigsten Fadenlagen. Erstere besteht aus unverzweigten, mit einer Rhizoidzelle festsitzenden Fäden ohne ausgesprochenes Spitzenwachstum; ihre kurzen Zellen enthalten einen Zellkern und ein bandförmiges, die Zellen fast vollständig auskleidendes Chromatophor. Cladophora dagegen bildet bis fußlange festsitzende Büschel aus verzweigten

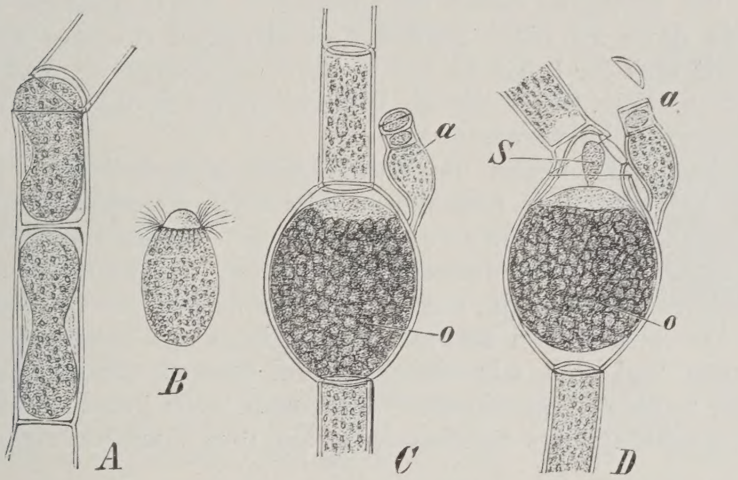


Fig. 275. *A*, *B* Oedogonium. *A* Schwärmsporen beim Ausschlüpfen. *B* freie Schwärmspore. *C*, *D* Oed. ciliatum. *C* vor der Befruchtung. *D* während der Befruchtung. *o* Oogonien. *a* Zwergmännchen, *s* Spermatozoid. Vergr. 350. (Nach Pringsheim.)

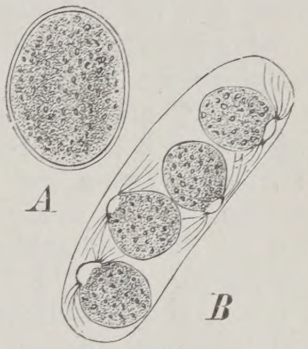


Fig. 276. Bulbochaete intermedia. *A* Oospore. *B* Bildung von vier Schwärmsporen aus der keimenden Oospore. Vergr. 250. (Nach Pringsheim.)

Fäden mit Spitzenwachstum. Die Verzweigung vollzieht sich aus den oberen Enden der langgestreckten, zahlreiche Kerne (Fig. 61) und zahlreiche polygonale Chromatophoren enthaltenden Zellen. Beide Arten sind isogam.

Bei *Ulothrix zonata* ([17, 18]) (Fig. 273) geschieht die ungeschlechtliche Fortpflanzung durch viercilige Schwärmsporen (Zoosporen) (*C*), welche zu 1 bis 8, bei größeren Formen sogar zu 16 bis 32 durch Teilung in einer Fadenzelle gebildet werden und durch ein seitlich entstehendes Loch aus der Zellmembran ausschlüpfen (*B*), umher schwärmen und dann zu neuen Fäden auswachsen. Die geschlechtlichen Schwärmzellen, Planogameten, bilden sich in gleicher Weise aus anderen Fadenzellen, aber in viel größerer Zahl, sie sind kleiner (*E*) und besitzen nur zwei Cilien, außerdem einen roten Augenfleck und ein Chromatophor wie die Schwärmsporen; sie kopulieren paarweise zu Zygoten (*F*—*H*), welche die Cilien einziehen, sich abrunden und mit Membran umkleiden. Die Zygote stellt einen Ruhezustand dar, sie wird zu einem kleinen einzelligen Keimpflänzchen (*J*), erzeugt dann mehrere Schwärmsporen (*K*), aus denen die neuen Ulothrixfäden wieder heranwachsen. Übrigens können die Planogameten unter Umständen sich auch direkt parthenogenetisch ohne Kopulation weiter entwickeln. Damit ist die Mannigfaltigkeit der Schwärmerbildung noch nicht erschöpft, denn die Fäden können außer den oben genannten Schwärmsporen mit 4 Wimpern auch kleinere ungeschlechtliche, aber gametenähnliche Mikrozoosporen mit 4 oder 2 Wimpern erzeugen, welche bei Temperaturen über 10° meist zu Grunde gehen, bei solchen unter 10° nach einigen Tagen zur Ruhe kommen

und dann langsam keimen. Die Alge ist insofern von Interesse, als bei ihr die sexuelle Differenzierung der Gameten noch in einem Anfangsstadium steht,

Als Beispiel oogamer Confervoideen sei die Gattung *Oedogonium* (19) genannt, an die sich mit ähnlichem Verhalten *Bulbochaete* anschließt. Während letztere verzweigte Zellfäden aufweist, haben die zahlreichen Arten der ersteren Gattung unverzweigte Fäden, deren Zellen nur je einen Kern und je ein einziges, aus zahlreichen zusammenhängenden Bändern bestehendes wandständiges Chromatophor besitzen. Die ungeschlechtlichen Schwärmsporen (Fig. 275 *B*) sind bei Oedogonium besonders groß, haben ein aus Kinoplasma bestehendes, farbloses Vorderende, an dessen unterm Rande zahlreiche Cilien in Form eines Kranzes entspringen. Sie entstehen in Einzahl aus dem ganzen Inhalt einer Fadenzelle (Fig. 275 *A*) und schlüpfen unter Aufbrechen dieser Zelle aus. Was die sexuelle Fortpflanzung anbelangt, so werden einzelne Fadenzellen zu Oogonien, indem sie tonnenförmig anschwellen und ihren Inhalt zu einer sich abrundenden großen Eizelle ausbilden. Am oberen Ende des Oogoniums entsteht in der Membran ein Loch und unter diesem ein farbloser Empfängnisfleck an der Eizelle. An anderen Stellen desselben oder eines anderen Fadens werden die Spermatozoiden erzeugt und zwar meist zu je zwei in relativ niedrig bleibenden Fadenzellen, den Antheridien. Die Spermatozoiden sind kleiner als die ungeschlechtlichen Schwärmsporen, aber wie diese auch mit einem Cilienkranz versehen. Sie schlüpfen durch die Öffnung in das Oogonium und verschmelzen mit der Eizelle, die dann zu einer großen derbwandigen Oospore wird. Bei der Keimung der Oosporen teilt sich ihr Inhalt in vier große Schwärmsporen, welche ausschlüpfen und neue Fäden bilden. Fig. 276 stellt die Bildung dieser Sporen für *Bulbochaete* dar, mit welcher Oedogonium nahe verwandt ist.

Bei gewissen Arten von Oedogonium liegen die Verhältnisse komplizierter. Die Spermatozoiden werden nämlich bei diesen in besonderen kleinen, nur aus wenigen Zellen bestehenden Pflänzchen, sogen. „Zwergmännchen" erzeugt. Diese Pflänzchen entwickeln sich aus ungeschlechtlichen Schwärmsporen (Androsporen), welche sich nach dem Ausschwärmen auf die weiblichen Fäden, ja sogar auch direkt auf die Oogonien festsetzen, zu den wenigzelligen Zwergmännchen heranwachsen, dann aus ihren oberen Zellen die Spermatozoiden erzeugen und sich mit einem Deckel öffnen, um dieselben zu entlassen. Fig. 275 *C* zeigt ein reifes Zwergmännchen auf einem noch geschlossenen Oogonium, *D* den Eintritt der Befruchtung, das Spermatozoid auf dem Empfängnisfleck bei *Oedogonium ciliatum*.

Die oogamen Confervoideen sind infolge der komplizierten sexuellen Vorgänge als die höher entwickelten im Vergleich zu den isogamen zu betrachten.

3. Ordnung. Siphoneae.

Die Siphoneen oder Schlauchalgen unterscheiden sich von allen übrigen Chlorophyceen und Algen überhaupt durch die besondere Beschaffenheit ihres Thallus, welcher äußerlich mehr oder weniger reich gegliedert ist, aber meist aus einer einzigen großen Zelle besteht, oder, wenn er mehrzellig ist, wenigstens sich aus großen vielkernigen Zellen aufbaut. Die Zellhaut umschließt somit im ersten Falle eine einzige Plasmamasse, in deren Wandbelag zahlreiche Zellkerne und zahlreiche kleine grüne Chromatophoren sich vorfinden. Dieselbe Form des Thallus kehrt unter den Hyphomyceten bei den Phycomyceten oder Algenpilzen wieder, so daß die Letzteren vielleicht als abgeleitete Formen der Siphoneen angesehen werden können.

Die Siphoneen leben größtenteils im Meere. Im Süßwasser oder auf feuchtem Erdboden gedeihen die Arten von *Vaucheria*, terrestrisch ferner *Botrydium* und *Protosiphon*, einige Formen endlich kommen endophytisch in den Blättern höherer Pflanzen vor.

Die sexuelle Fortpflanzung besteht meist in Kopulation gleicher Gameten und ist nur bei der Gattung *Vaucheria* zu Oogamie vorgeschritten.

Die einfachste Form der Siphoneen wird durch die Gattung *Botrydium* (18) (mit einer kosmopolitischen Art *B. granulatum*) dargestellt. Diese Alge wächst herdenweise auf feuchtem Lehmboden an der Luft und bildet grüne, etwa 2 mm dicke Bläschen, deren

Basis sich in ein chromatophorenfreies, im Substrat steckendes verzweigtes fädiges Rhizoidsystem fortsetzt (Fig. 277 *A*). Die Zellwand der Blase und des Rhizoids umschließt nur einen einzigen Protoplasten mit zahlreichen kleinen Zellkernen und im oberen Teile mit zahlreichen Chlorophyllkörnern. Die Pflänzchen können sich auf vegetativem Wege durch Sprossung vermehren, indem am oberirdischen Teile eine zur Größe

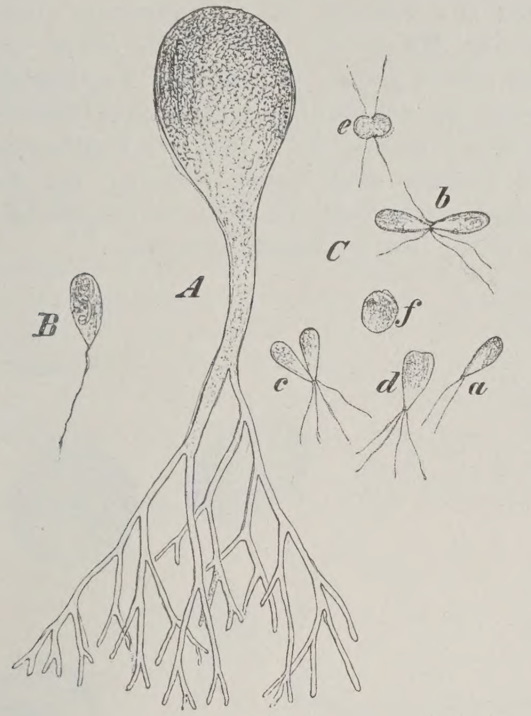


Fig. 277. *A* und *B* Botrydium granulatum. *A* ein freigelegtes Pflänzchen mittlerer Größe. Vergr. 28. *B* eine Schwärmspore mit Jodlösung fixiert. Vergr. 540. *C* Protosiphon botryoides. Planogameten und zwar bei *a* ein einzelner Planogamet, bei *b* zwei Planogameten in der ersten Berührung, bei *c*, *d* und *e* in seitlicher Verschmelzung, bei *f* die Zygospore. Vergr. 540.

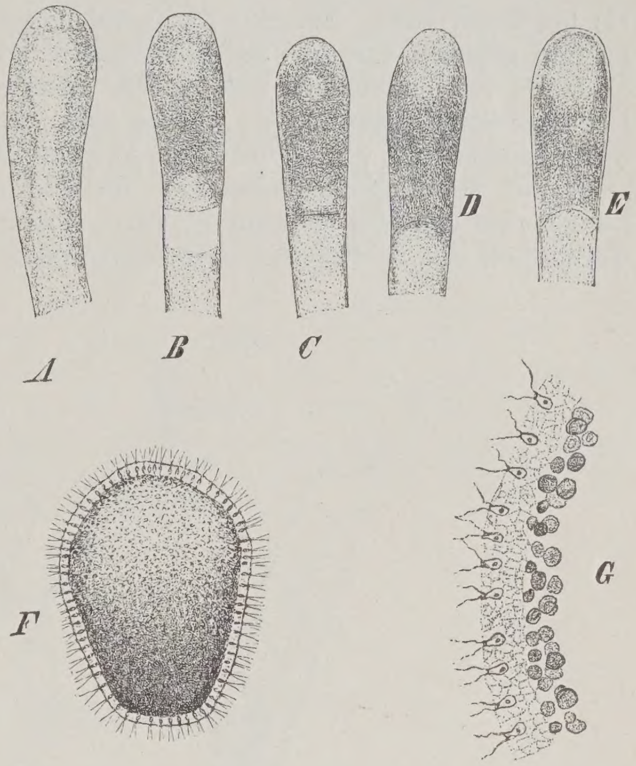


Fig. 278. Vaucheria sessilis. *A*, *B* Anlage der Sporangien. *C*, *D*, *E* Ausbildung der Schwärmsporen. Vergr. 95. *F* Schwärmspore. Vergr. 25. *G* ein Stück der äußeren farblosen Plasmaschicht, dem vorderen Ende der Schwärmspore entnommen. Vergr. 950.

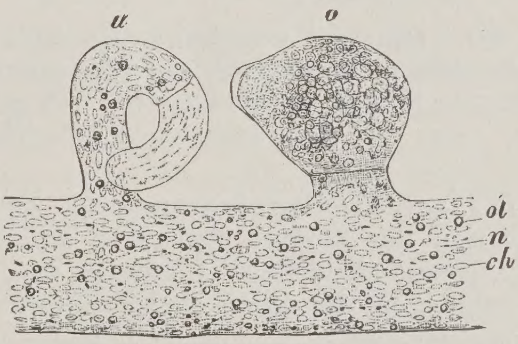


Fig. 279. Vaucheria sessilis forma repens. Fadenstück mit Oogonium *o*, Antheridium *a*; *ch* Chromatophoren, *n* Zellkerne, *ol* Öltropfen. Vergr. 240.

der Mutterzelle heranwachsende Ausstülpung entsteht, die ein Rhizoid in den Boden treibt und unter Querwandbildung sich schließlich isoliert. Die Fortpflanzung geschieht durch ungeschlechtliche Schwärmsporen, zu deren Bildung sich die ganze Pflanze in ein einziges Sporangium verwandelt und ihren Inhalt in zahlreiche, durch ein Loch am Scheitel ausschlüpfende Schwärmsporen zerteilt. Die Schwärmsporen (Fig. 277 *B*) tragen am vorderen farblosen Ende nur eine einzige Cilie. Die Bildung der Schwärmsporen geht nur dann vor sich, wenn das Pflänzchen mit Wasser bedeckt ist. Die ausgeschlüpften Schwärmer setzen sich zur Ruhe, umgeben sich mit Membran und keimen auf feuchter Erde zu neuen Pflänzchen aus. Ob auch sexuelle Planogameten unter Umständen gebildet werden, ist noch nicht nachgewiesen.

Wie Klebs gezeigt hat, kommt meist in Gemeinschaft mit Botrydium und bislang zu diesem gerechnet eine ganz ähnliche kleinere Art, *Protosiphon botryoides*, vor, mit meist unverzweigtem Rhizoid und nur einem einzigen netzförmigen Chromatophor. Diese Art

erzeugt Planogameten, welche paarweise zu sternförmigen ruhenden Zygoten kopulieren (Fig. 277 *c*).

Oogamie tritt unter den Siphoneen bei der Gattung *Vaucheria* (20) auf, deren Arten einen rasenartig wachsenden, aus einer einzigen fadenförmigen verästelten Zelle bestehenden und ebenfalls mit farblosen Rhizoiden im Substrat befestigten Thallus aufweisen.

Die Bildung der ungeschlechtlichen Schwärmsporen geschieht hier in anderer Weise als bei Botrydium. Einzelne Zweigenden schwellen zur Bildung des Sporangiums etwas an und grenzen dasselbe mit einer Querwand ab (Fig. 278 *A—E*). Der ganze Inhalt der Endzelle verwandelt sich nun in eine einzige sehr große grüne, mit bloßem Auge schon sichtbare Schwärmspore (*F*), welche einen farblosen, die zahlreichen Kerne enthaltenden Saum besitzt und vor jedem Kern je zwei Cilien hervorstreckt (*G*). Bei der Entleerung reißt der Sporangiumscheitel auf und die Spore zwängt sich unter Drehung um die Längsachse aus der Öffnung hervor. Morphologisch entspricht die Vaucheriaspore der Gesamtheit der zahlreichen Einzelschwärmsporen eines Botrydiumpflänzchens.

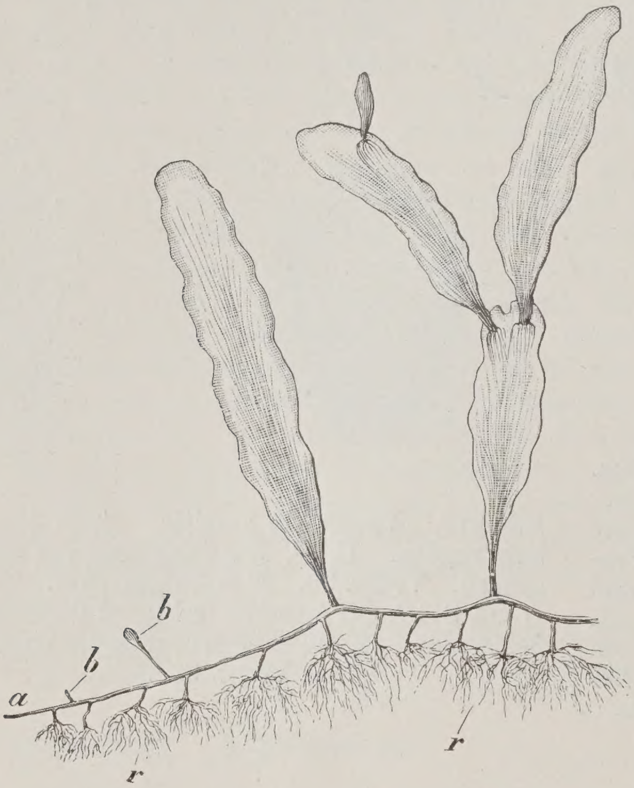


Fig. 280. Caulerpa prolifera. Die feinen Linien auf den Thallusblättern bezeichnen die Plasmaströmungen. *a* fortwachsende Spitze der Thallusachse, *bb* junge Thalluslappen, *r* Rhizoide. $^1/_2$ nat. Gr.

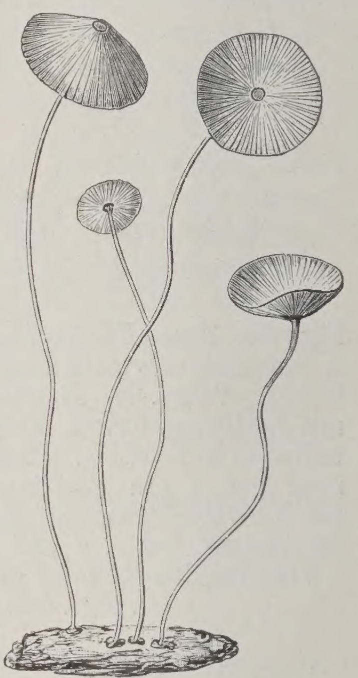


Fig. 281. Acetabularia mediterranea. Kalkalge. Nat. Größe.

Die sexuelle Fortpflanzung von Vaucheria weicht bedeutend von der Gametenkopulation der übrigen Siphoneen ab, ist aber von dieser als der ursprünglichen Befruchtungsart abzuleiten. Oogonien und Antheridien entstehen an den Thallusfäden als Ausstülpungen, die durch eine Scheidewand abgegrenzt werden (Fig. 279 *o* und *a*). Die Oogoniumanlage enthält nach Oltmanns anfangs zahlreiche Kerne, die aber alle bis auf den zurückbleibenden einzigen Eikern vor der Scheidewandbildung wieder in den Tragfaden zurückwandern. Im reifen Zustand besitzt das Oogon eine schnabelartige, mit farblosem Plasma angefüllte Vorstülpung, an welcher das Oogonium geöffnet wird, während sich die Eizelle abrundet. Das in seiner Anlage ebenfalls vierkernige Antheridium ist mit seinem Tragast ein hornförmig gekrümmtes Gebilde (*a*), es öffnet sich bei der Reife an seiner Spitze und entleert seinen schleimigen Inhalt, aus dem die winzigen farblosen, mit 2 ungleich langen, seitlich inserierten Cilien versehenen Spermatozoiden herausschwärmen, um an dem farblosen Empfängnisfleck des Oogoniums sich anzusammeln. Ein Spermatozoid dringt ein und vollzieht die Befruchtung durch Verschmelzung seines Kerns mit dem Eikern. Die befruchtete Eizelle umgibt sich als Oospore mit einer Membran und geht in Ruhezustand über.

Die marinen Siphoneen zeigen meist eine viel kompliziertere Gliederung des Thallus und gehören in dieser Hinsicht zu den interessantesten Algentypen. So besitzt die in vielen Arten in wärmeren Meeren vertretene Gattung *Caulerpa*(21) eine kriechende, an der Spitze fortwachsende Hauptachse, welche nach unten reich verzweigte farblose Rhizoiden in den Boden entsendet, nach oben dagegen grüne, bei den einzelnen Arten sehr verschieden gestaltete Thalluslappen trägt. Bei der mediterranen *C. prolifera* (Fig. 280) sind diese Lappen blattartig und häufig proliferierend. Dabei umschließt die ganze Pflanze nur einen einzigen Zellraum, welcher von netzförmig verbundenen Zellstoffbalken durchsetzt wird.

Die Gattung *Bryopsis* hat dagegen einen zierlich federförmig verzweigten Thallus, der ursprünglich ebenfalls einzellig ist, schlauchförmige Seitenäste bildet und diese später durch Querwände abgliedert.

Andere marine Siphoneen inkrustieren ihre Membranen mit kohlensaurem und oxalsaurem Kalk, so z. B. *Halimeda Opuntia*, welche eine Opuntia im kleinen nachahmt. Sehr eigenartigen Habitus hat unter den Kalksiphoneen die im Mittelmeer heimische *Acetabularia mediterranea*(22) mit gestieltem schirmförmigem Thallus (Fig. 281). Der dünne Stiel sitzt im Substrat mittels einiger Rhizoiden fest. Der Hut besteht aus dicht zu einer Fläche zusammenschließenden, von der Stielspitze ausstrahlenden schlauchförmigen Ausstülpungen, in denen unbewegliche Sporen, sogen. Aplanosporen, gebildet werden. Diese werden durch Zerfallen des Schirmes frei, entwickeln sich zu Gametangien und erzeugen zahlreiche kopulierende Planogameten.

Klasse IX.

Phaeophyceae, Braunalgen (13, 23).

Mit Ausnahme einiger weniger Süßwasserarten sind die zahlreichen Brauntange fest sitzende Meeresalgen, die ihre größte Entwicklung in den kälteren Ozeanen erreichen. In der Gestalt des Thallus herrscht eine ungemeine Mannigfaltigkeit. Abgesehen von einigen einzelligen Formen gleichen die einfachsten Vertreter (z. B. die Gattung *Ectocarpus*) im Bau des Thallus den Confervoideen, sind unverzweigte oder verzweigte festsitzende Fäden aus einfachen Zellreihen bestehend. Sodann gibt es Formen mit cylindrischem, reich verzweigtem, vielzelligem Thallus (z. B. *Cladostephus*, dessen Hauptzweige mit dichtem Filz von kurzen vielzelligen Seitenzweigen bedeckt sind (Fig. 7), oder mit bandförmig abgeplattetem, dichotomisch verzweigtem vielzelligem Thallus (z. B. *Dictyota*, Fig. 8). Diese Vertreter wachsen an ihren Thallusenden vielfach mittels großer Scheitelzellen weiter (Fig. 7 und Fig. 161). Andere Arten haben scheiben- oder blasenförmigen Thallus.

Die höchste Entwicklung erfahren die Braunalgen in den Familien der *Laminariaceen* und *Fucaceen*. Zu den ersteren gehört die in den nördlichen Meeren verbreitete Gattung *Laminaria*, deren Arten einem großen gestielten ungeteilten oder handförmig gespaltenen Blatt gleichen, das an seiner Stielbasis mittels eines verzweigten wurzelähnlichen Haftorgans befestigt ist.

Bei *Laminaria digitata* und *L. Cloustoni* (Fig. 283) zeigt das handförmig geteilte Thallusblatt ein sehr eigenartiges Wachstum, indem es an seiner Basis eine interkalare wachstumsfähige Zone besitzt, die jährlich im Herbst und Winter ein neues Blatt auf dem perennierenden Stiel erzeugt. Das alte wird dabei emporgehoben und stirbt allmählich ab, das neue spaltet sich aber in mehrere zugespitzte Lappen. Die Laminarien erreichen riesige Dimensionen, so wird der Zuckertang *L. saccharina* (Nordsee) mit ungeteiltem, ebenfalls sich jährlich erneuendem Thallusblatt bis 3 m lang und der Stiel über 1 cm dick.

Die größten Dimensionen unter den Phaeophyceen erreichen gewisse antarktische

Laminariaceen, vor allem die *Macrocystis pyrifera* (Fig. 282); der Achsenteil derselben erhebt sich an den Küsten vom Meeresboden bis zur Oberfläche und soll über 200 m erreichen; er ist, abgesehen von einem nackten unteren Teile, dicht mit großen langen herabhängenden, an der Basis mit je einer großen luftführenden Schwimmblase ver-

Fig. 282. Macrocystis pyrifera Ag. Sehr stark verkleinert. (Nach HOOKER und HARVEY.)

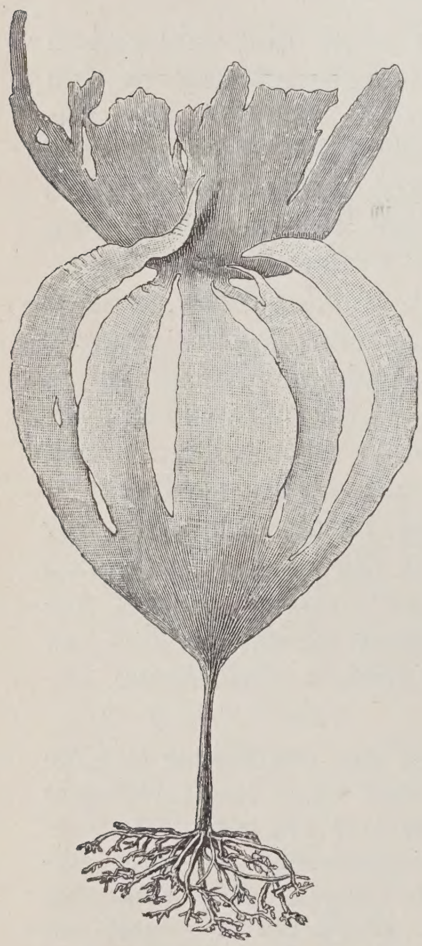


Fig. 283. Laminaria Cloustoni. Nordsee. Auf 1/3 verkleinert. Officinell.

Fig. 284. Fucus serratus, Helgoland, 1/3 nat. Gr. Links Endstück eines älteren Thallus mit Conceptakeln.

sehenen Thalluslappen besetzt. Sehr bemerkenswert sind ferner die antarktischen *Lessonia*-Arten, welche eine schenkeldicke verzweigte Hauptachse mit überhängenden langen Thallusblättern an den Zweigen entwickeln und mehrere Meter Höhe erreichen, also Algen mit baumartigem Habitus vorstellen.

Die Fucaceen sind ebenfalls stattliche Meeresalgen, bleiben aber hinter den Laminarien an Größe zurück. Am bekanntesten sind von nordeuropäischen Formen die *Fucus*-Arten, *Fucus vesiculosus*, der Blasentang, mit runden luftführenden Blasen in dem bandförmigen, gabelig verzweigten Thallus, *F. platycarpus* ohne Blasen, *F. serratus* mit gezähntem Thallus (Fig. 284). Sie sitzen mit Haftscheiben an dem Substrat fest und wachsen gesellig in der Brandungszone; ihr Thallus erreicht über 1 m Länge. Die höchste Gliederung erlangt der Thallus bei den Braunalgen, ja den Algen überhaupt, in der verwandten Gattung *Sargassum* durch eine scharfe Sonderung in verzweigte dünne cylindrische Achsen und in Seitenäste, die je nach ihrer Funktion als laubblattartige, als hochblattartige oder als fruktifizierende Seitenäste oder endlich als Schwimmblasen ausgebildet erscheinen. Bemerkenswert sind gewisse Sargassum-Arten dadurch, daß sie von den Küsten durch Meeresströmungen weggeführt und an ruhigen Stellen des Ozeans zu großen flutenden Massen (Sargassomeer) zusammengetrieben werden.

Die Zellen der Phaeophyceen enthalten meist nur einen Zellkern und mehrere oder viele flache scheibenförmige gelbbraune Chromatophoren, welche außer Chlorophyll einen braunen Farbstoff, das Phycophaein enthalten und den Algen eine gelbbraune oder dunkelbraune Gesamtfärbung verleihen. Als Assimilationsprodukt sind zahlreiche halbflüssige sogen. Fucosankörner nachweisbar, welche wohl zu den Kohlehydraten gehören und nach HANSTEEN (24) ihren Bildungsherd an den Chromatophoren haben. Bei den höheren Formen zeigt sich bereits eine ziemlich weitgehende anatomische Differenzierung des Thallus. Die äußeren Zellschichten sind in der Regel als Assimilationsgewebe ausgebildet, die inneren als Speicherzellen. Bei gewissen Arten finden sich axile Zellstränge mit siebröhrenähnlichen Elementen und auch mit echten Siebröhren (25).

Nach der Art der ungeschlechtlichen und geschlechtlichen Fortpflanzung zerfallen die Phaeophyceen in drei Ordnungen.

1. Ordnung. Phaeosporeae (26).

Hierher gehört die Mehrzahl der Formen, u. a. auch die Laminarien. Sie vermehren sich durch ungeschlechtliche Schwärmsporen, die in großer Anzahl in einfächerigen

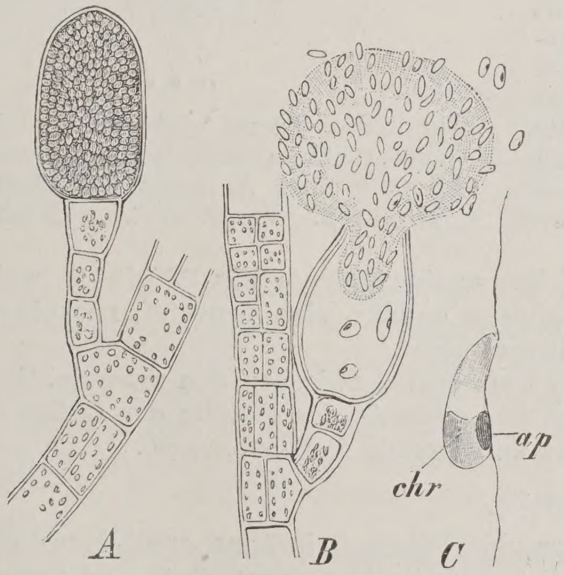


Fig. 285. Cladostephus verticillatus, Schwärmsporenbildung. *A* geschlossenes Sporangium. Vergr. 280. *B* Entleerung der Sporen. Vergr. 280. *C* einzelne Schwärmspore mit rotem Augenpunkt *ap* und gelbem Chromatophor *chr*. Vergr. ca. 2000. (Nach PRINGSHEIM.)

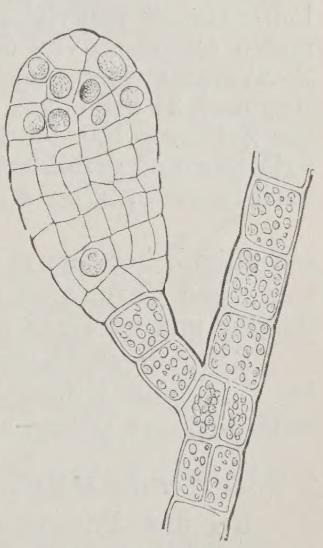


Fig. 286. Cladostephus verticillatus. Teilweise entleertes Gametangium. Vergr. 500. (Nach PRINGSHEIM.)

oder unilokulären Sporangien erzeugt werden, einen roten Augenpunkt, ein Chromatophor und zwei seitlich inserierte Cilien aufweisen (Fig. 285).

Außer den einfächerigen Sporangien werden von den Phaeosporeen auch vielfächerige oder multilokuläre Sporangien erzeugt (Fig. 286). Jede Zelle derselben bildet nur eine, selten mehrere ausschlüpfende Schwärmsporen. Bei einigen Gattungen ist Kopulation dieser Schwärmsporen beobachtet worden. Wir haben dieselben demnach als Planogameten und ihre Sporangien als Gametangien zu bezeichnen. Allerdings ist die Sexualität verschieden stark ausgeprägt und unter Umständen keimen die Gameten auch ohne Kopulation zu neuen Pflanzen, wie dies unter den Chlorophyceen auch für Ulothrix bemerkt wurde. Für die Laminarien ist bis jetzt nur diese ungeschlechtliche Fortpflanzung bekannt.

Als Beispiel für Kopulation sei *Ectocarpus siliculosus* (Fig. 287) genannt, bei welchem bereits ein Unterschied in dem Verhalten der im übrigen gleichgestalteten Gameten zu konstatieren ist, derart daß männliche und weibliche, beide in besonderen diöcisch oder monöcisch verteilten Gametangien erzeugt, zu unterscheiden sind. Die weiblichen Gameten setzen sich fest und zahlreiche männliche Gameten berühren dieselben mit ihren Cilien (Fig. 287, *1*). Schließlich verschmilzt ein männlicher Gamet mit dem weiblichen zu einer Zygote (Fig. 287, *2—9*), welche zuletzt nur einen Kern, aber zwei Chromatophoren enthält, sich festsetzt, mit einer Membran umgibt und zu einer neuen Pflanze heranwächst.

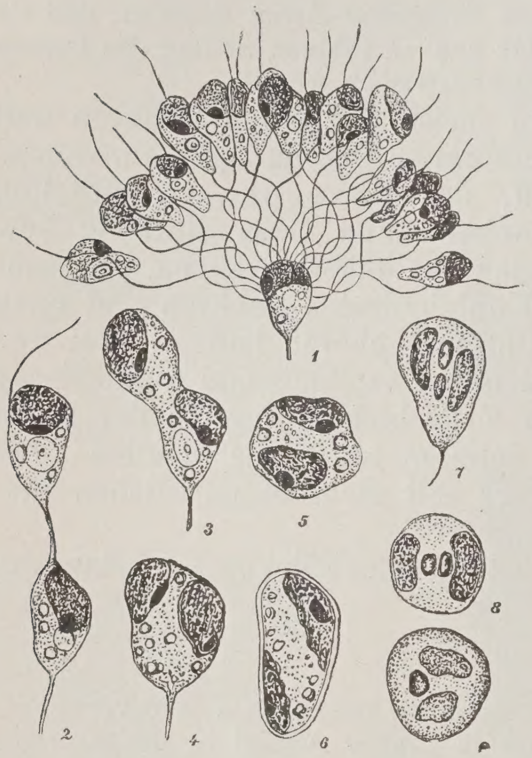


Fig. 287. Ectocarpus siliculosus. *1* Weiblicher Gamet von vielen männlichen Gameten umgeben, von der Seite gesehen. *2—5* Verschmelzung der Gameten. *6* Keimling nach 24 Stunden. *7—9* Vereinigung der Zellkerne bei der Kopulation, nach fixiertem und gefärbtem Material. (*1—5* nach BERTHOLD, *6—9* nach OLTMANNS.)

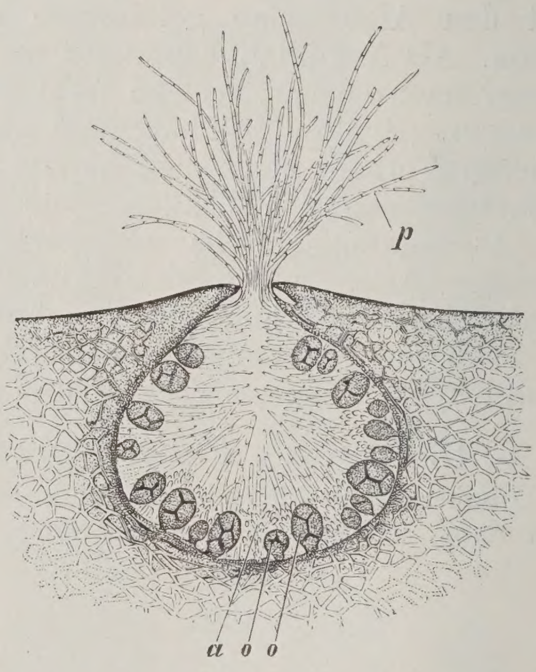


Fig. 288. Fucus platycarpus. Monöcisches Conceptaculum mit Oogonien verschiedenen Alters *o* und Antheridienbüscheln *a*, Paraphysen *p*. Vergr. ca. 25. (Nach THURET.)

Bei anderen Phaeophyceen ist der Unterschied zwischen den zweierlei Gameten auch in Form und Größe ausgeprägt und besonders in der Familie der *Cutleriaceen* ist ein entschiedener Übergang von Isogamie zu Oogamie festzustellen (27).

2. Ordnung. Fucaceae (28).

Bei den Fucaceen fehlt die ungeschlechtliche Schwärmsporenbildung gänzlich, dagegen ist die sexuelle Fortpflanzung als Oogamie scharf ausgeprägt. Bei *Fucus vesiculosus* und *platycarpus* sitzen die Oogonien und Antheridien in besonderen krugförmigen Vertiefungen, sogen. Conceptacula, die zu vielen in die letzten angeschwollenen Auszweigungen des Thallus eingesenkt sind (vgl. Fig. 284). Bei *F. platycarpus* enthalten die Konceptakeln (Fig. 288) sowohl Oogonien als Antheridien, bei *F. vesiculosus* dagegen

herrscht Diöcie. Der Innenwand der Conceptacula entspringen zahlreiche unverzweigte sterile Haare, sogen. Saftfäden oder Paraphysen, die zum Teil als Büschel nach außen vortreten (Fig. 288 *p*). Zwischen denselben befinden sich die Oogonien und Antheridien. Die letzteren sitzen als ovale Zellen in büscheliger Anordnung an besonderen reich verzweigten kurzen Fäden (Fig. 288 *a* und 289 *C*). Der Inhalt des Antheridiums zerfällt in zahlreiche Spermatozoiden, er wird als Ganzes, von der dünnen inneren Wandschicht umgeben, entleert (Fig. 289 *B*) und entläßt dann die gestreckt eiförmigen, mit zwei verschieden langen seitlichen Cilien und rotem Augenfleck versehenen Spermatozoiden (Fig. 289 *G*). Die Oogonien (Fig. 288 *o*) sind große rundliche, auf einzelligem Stiel sitzende gelbbraune Gebilde, deren Zellhaut im Innern acht große, aus der Oogonium-

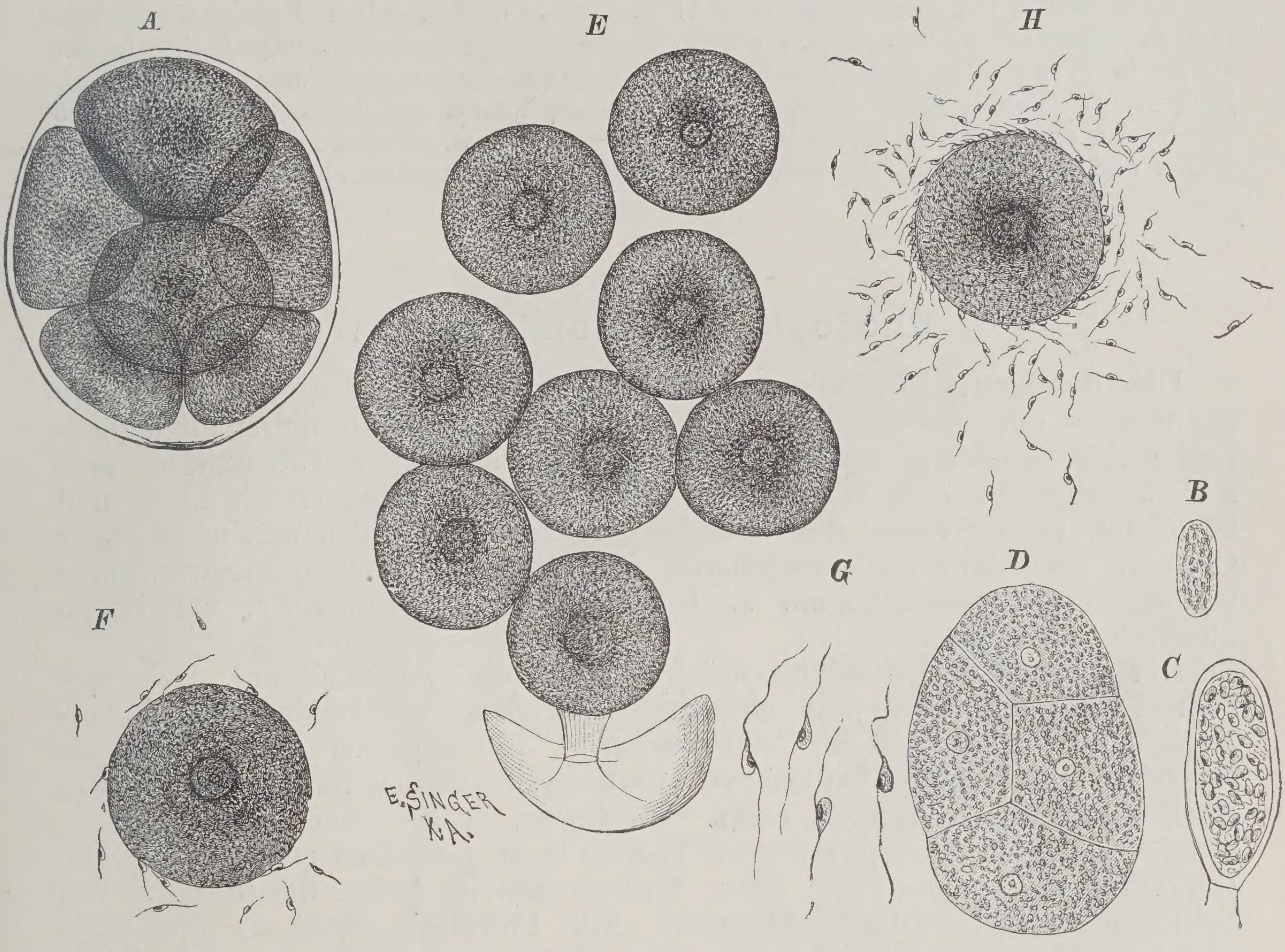


Fig. 289. *A—F* Fucus platycarpus. *A* der entleerte Inhalt des Oogoniums, *B* des Antheridiums, von der innern Membranschicht umgeben. *C* ein Antheridium. *D* Schnitt durch ein Oogonium. *E* entleerte Eier und der Rest der Oogoniumhülle. *F* ein Ei mit anhaftenden Spermatozoiden. *G* und *H* Fucus vesiculosus. *G* Spermatozoiden. *H* ein Ei mit Spermatozoiden. *C* und *G* Vergr. 540, die übrigen Vergr. 240.

mutterzelle durch Teilung entstandene Eizellen umschließt. Dieselben treten, ebenfalls von einer dünnen Hülle umgeben, aus der aufplatzenden Oogoniumwand heraus (Fig. 289 *A*), die Hülle verquillt am oberen Teil, stülpt sich teilweise zurück und die nackten Eier werden nun frei ins Wasser entleert (Fig. 289 *E*). Dort haften die Spermatozoiden in großer Menge an denselben an, versetzen sie durch ihre Cilien in rotierende Bewegung, wobei die Befruchtung durch ein Spermatozoid erfolgt (Fig. 289 *F*, *H*). Nach der Befruchtung umgibt sich das Ei mit Membran, setzt sich fest und wächst unter Teilung zu einer neuen Pflanze heran.

Bei anderen Fucaceen werden in dem Oogonium nur 4, 2 oder schließlich auch nur 1 befruchtungsfähiges Ei erzeugt, immer aber teilt sich der eine Kern der Oogoniumanlage nach Oltmanns in 8 Kerne, wovon dann in diesen Fällen nur 4, 2 oder 1 zu Eikernen ausgebildet, die übrigen als reduzierte befruchtungsunfähige Eikerne beiseite geschoben werden.

3. Ordnung. Dictyotaceae.

Hierher gehören nur wenige Formen, z. B. *Dictyota dichotoma* (Fig. 8). Die ungeschlechtlichen Sporen entstehen zu zwei oder vier in Sporangien, ähnlich wie bei den Rotalgen, und sind bewegungslos, ohne Cilien. Die Geschlechtsorgane sind in Oogonien und Antheridien differenziert; die Oogonien enthalten nur je eine Eizelle, welche nach außen entleert wird, die vielzelligen Antheridien erzeugen aus jeder Zelle je ein Spermatozoid, welches im Unterschied zu den übrigen Braunalgen nach WILLIAMS (29) nur eine einzige lange Cilie besitzt. Indessen ist der Befruchtungsakt bis jetzt noch nicht beobachtet worden.

Nutzpflanzen der Phaeophyceen sind: die früher officinellen *Laminaria digitata* und *L. Cloustoni* (Pharm. germ.), deren Thallusstiele getrocknet als Quellstifte in der Chirurgie Verwendung finden. — Verschiedene Laminariaceen und Fucaceen liefern aus ihrer Asche (Varec, Kelp) Jod, früher wurde auch Soda aus ihnen gewonnen. Viele Laminarien sind reich an Mannit (z. B. *Lam. saccharina*), dienen zur Gewinnung desselben und werden auch, besonders von Chinesen und Japanern, als Nahrung genossen.

Klasse X.

Rhodophyceae, Rotalgen (13, 30).

Die Rotalgen, Rhodophyceen oder Florideen, bilden ebenso wie die Braunalgen eine selbständige Gruppe höherer Algen, für deren phylogenetische Ableitung aus niederstehenden Algen sichere Anhaltspunkte noch fehlen. Sie sind ebenfalls fast ausschließlich festsitzende Meeresalgen und bewohnen vorzugsweise die tiefsten Algenregionen an den Küsten aller Ozeane, besonders der gemäßigten und tropischen Zonen. Nur wenige Gattungen (*Batrachospermum* z. B.) wachsen im Süßwasser, am Boden fließender Gewässer.

Der Thallus der Rotalgen weist große Mannigfaltigkeit auf. Die einfachsten Formen stellen aus einfachen Zellreihen bestehende, zierlich verzweigte Fäden dar (z. B. *Callithamnion*). Bei anderen bauen sich die büschelig verzweigten Thallusfäden aus mehreren Zellen im Querschnitt auf. Zahlreiche Formen besitzen einen vielzelligen, breiter oder schmäler bandförmigen und oft reich verzweigten Thallus (z. B. *Chondrus crispus* Fig. 290, *Gigartina mammillosa* Fig. 291). Sodann gibt es Arten, die in Form von Zellflächen der Unterlage aufliegen. Alle Florideen sitzen an der Basis mittels Haftfäden oder Haftscheiben fest. Eine der komplizierter gegliederten Formen ist z. B. die *Delesseria sanguinea* (*Hydrolapathum*) (Fig. 9) des atlantischen Ozeans. Der blattartige zunächst einer Basalscheibe entspringende Thallus ist hier mit Mittel- und Seitenrippen versehen. Im Herbst fallen die Spreiten ab, die Hauptrippen bleiben als Achsen stehen, um im nächsten Frühjahr neue Thallusblätter zu treiben. Die Familie der *Corallinaceen*, deren Gattungen teils einen zierlich gegliederten, verzweigten, teils einen krustenförmigen oder korallenartigen Thallus aufweisen, zeichnet sich dadurch aus, daß in und um die Membranen kohlensaurer Kalk massenhaft abgelagert wird, so daß diese Algen etwa den Eindruck von Korallen machen. Die Kalkflorideen vegetieren hauptsächlich an Küsten mit starker Brandung, ganz besonders in den Tropen.

Die Rotalgen sind meist rot oder violett, auch purpurschwarz oder braunrot gefärbt. Ihre Chromatophoren, welche als flache, scheibenförmige, ovale oder gebuchtete Gebilde in größerer Zahl und dichter Lagerung in den Zellen auftreten, enthalten einen roten Farbstoff, das Phycoerythrin, durch den der ebenfalls vorhandene Chlorophyllfarbstoff verdeckt wird. Echte Stärke

wird nicht als Assimilationsprodukt erzeugt, sondern eine stärkeähnliche Substanz, die Florideenstärke, in Form von rundlichen, oft geschichteten, mit Jod sich rötlich färbenden Körnchen. Auch Öltröpfchen kommen vor. Die Zellen sind einkernig oder auch mehrkernig.

Die Fortpflanzung geschieht bei den Florideen einerseits ungeschlechtlich durch Sporen, andererseits geschlechtlich durch Befruchtung weiblicher Organe durch männliche Zellen.

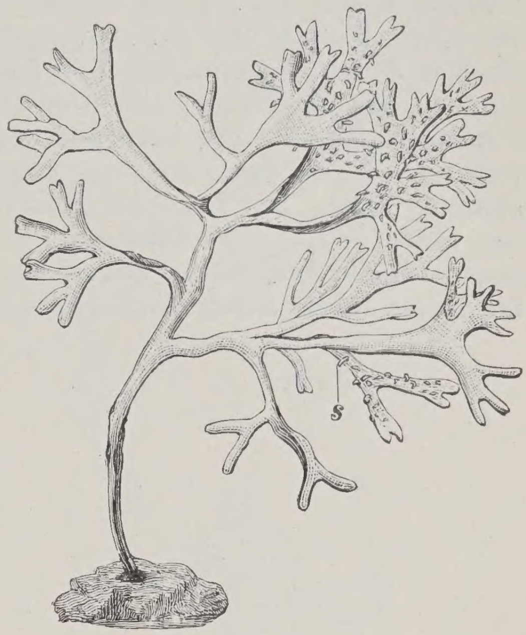


Fig. 291. Gigartina mammillosa. s warzenförmige Fruchtkörper. $^3/_4$ nat. Gr. — Officinell.

Die ungeschlechtlichen Sporen sind nackte, runde unbewegliche Zellen ohne Cilien, welche zu vier durch Teilung in einem Sporangium entstehen. Die Sporangien sitzen als rundliche Körper an den Thallusfäden oder sind dem Thallus eingesenkt, sie entlassen die vier nackten Sporen aus einem Querriß ihrer Wandung. Infolge der Entstehung zu vieren nennt man die Florideensporen Tetrasporen (Fig. 292). Sie vertreten die Rolle der Schwärmsporen der übrigen Algen und finden sich in ähnlicher Weise nur bei den Dictyotaceen unter den Braunalgen wieder.

Fig. 290. Chondrus crispus. Helgoland. $^1/_2$ nat. Gr. Officinell.

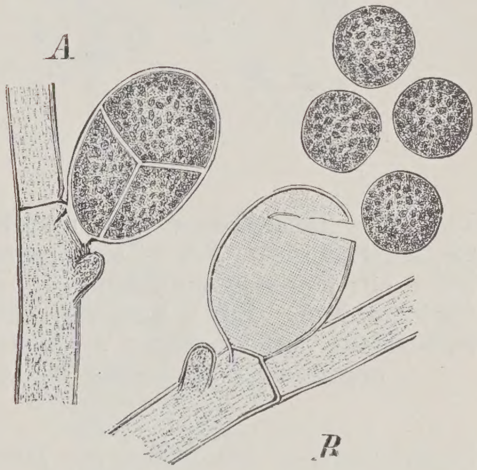


Fig. 292. Callithamnion corymbosum. Tetrasporenbildung. *A* geschlossenes, *B* entleertes Sporangium mit den vier ausgetretenen Tetrasporen. (Nach Thuret.)

Die Ausbildung der Sexualorgane, besonders der weiblichen, ist eine sehr eigenartige und von dem Verhalten der übrigen Algen sehr abweichende. Sie sei an dem Beispiel von *Batrachospermum moniliforme*, einer einheimischen Süßwasserfloridee, erläutert. Diese Alge besitzt einen in Gallerte gehüllten, bräunlichen, aus wirtelig verzweigten Fäden bestehenden Thallus. Die Sexualorgane treten im Herbst auf und bilden Glomeruli oder kugelige, aus radial gehäuften kurzen Zweigen gebildete Köpfchen in den Zweigquirlen.

Die Antheridien, auch Spermatangien genannt (Fig. 293 *A*), schließen meist in Zwei-

zahl die Enden der Wirtelzweige im Glomerulus ab. Jedes Antheridium besteht aus einer einzelnen zartwandigen Zelle, deren gesamtes Plasma bei den Rotalgen meist in die Bildung nur eines einzigen Spermatiums aufgeht. Die Spermatien werden aus der zurückbleibenden Zellhaut (*Av,s*) entleert, sind rundlich, einkernig, anfangs membranlos, später jedoch mit dünner Membran umkleidet, können sich nicht selbständig bewegen, wie die mit Cilien versehenen Spermatozoiden der übrigen Algen, und verdanken diesem Unterschied ihre besondere Bezeichnung. Die weiblichen Organe, hier Carpogonien genannt, sitzen ebenfalls an den Zweigenden zwischen den Antheridien tragenden Ästen. Das Carpogon (Fig. 293 *B*) besteht aus einer lang gestreckten, im unteren Teil (*c*) flaschenförmig angeschwollenen, im oberen Teil (*t*) fadenförmig gestalteten Zelle. Der Basalteil enthält das Ei mit großem Zellkern und Chromatophoren, der fadenförmige Teil wird als Trichogyn bezeichnet und fungiert als Empfängnisorgan für die Spermatien, die zu einem oder mehreren mit dessen Spitze kopulieren (*C*), indem ihr Inhalt durch eine entstehende Öffnung in den Zellinhalt des Carpogons unter

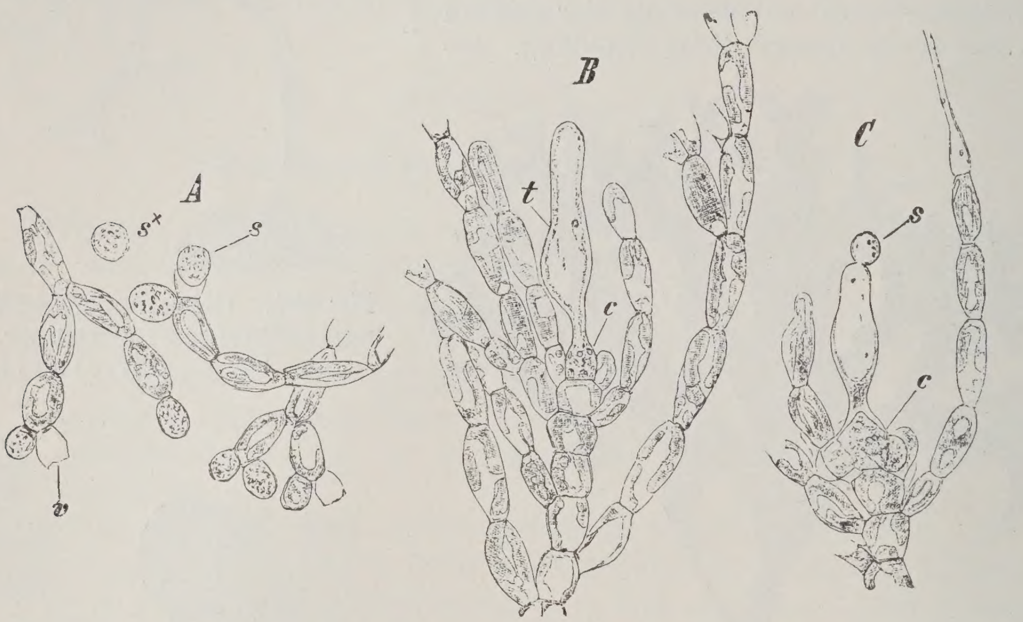


Fig. 293. Batrachospermum moniliforme. *A* einzelne durch Druck isolierte Wirtelzweige mit Antheridien. Bei *s** ein Spermatium, bei *s* ein solches im Augenblick der Entleerung, bei *v* ein leeres Antheridium. *B* ein isolierter Wirtelzweig mit einem noch unbefruchteten Carpogonium. Bei *c* Basalteil, bei *t* Trichogyn desselben. *C* ein Wirtelzweig mit befruchtetem Carpogonium, *s* ein entleertes mit dem Trichogyn kopuliertes Spermatium, beginnende Sprossung aus dem Basalteile des Carpogons bei *c*. Vergr. 540.

Zurücklassung der entleerten Membran übertritt. Der Zellkern eines Spermatiums befruchtet die Eizelle. Die alsdann vom Trichogyn sich abgrenzende Eizelle wird nun nicht direkt zu einer Oospore, infolge der Befruchtung wachsen vielmehr aus den Seitenflächen des Bauchteils des Carpogons sich weiter verzweigende Schläuche hervor, die sporogenen Fäden. Zugleich sprossen aus den Tragzellen des befruchteten Carpogons Hüllzweige hervor, die sich um die letzteren lagern und mit diesen eine sogen. Hüllfrucht, Cystocarp, bilden. Die sich reich verzweigenden sporogenen Fäden erzeugen aus ihren anschwellenden Endzellen die kugelrunden, einen Kern und ein Chromatophor führenden Sporen, die man hier als Carposporen bezeichnet. Sie werden aus den zurückbleibenden Hüllen der Endzellen entleert. Aus den Carposporen entwickelt sich bei *Batrachospermum* zunächst ein aus Zellfäden bestehender Vorkeim, der aus seinen Endzellen ungeschlechtliche einzellige Sporen erzeugt. Dieselben dienen der Vermehrung des Vorkeims. Schließlich wachsen einzelne Zweige des Vorkeims zu den geschlechtlich differenzierten Thallusfäden heran. Die Sporenbildung am Vorkeim entspricht der Tetrasporenbildung der übrigen Florideen.

Bei anderen Florideengattungen verläuft die Bildung der Cystocarpien und Carposporen in noch komplizierterer Weise als bei den Batrachospermen, überall aber lassen sich die Carposporen nach Oltmanns in ihrer Entstehung als Abkömmlinge der be-

fruchteten Eizelle nachweisen. Wir haben somit bei den Florideen zwei Generationen zu unterscheiden, einmal die geschlechtliche (Gametophyt), welche Eizellen und Spermatien bildet, und dann die aus der befruchteten Eizelle hervorgehende, mit der Mutterpflanze in Verbindung bleibende ungeschlechtliche, Carposporen erzeugende Generation (Sporo-

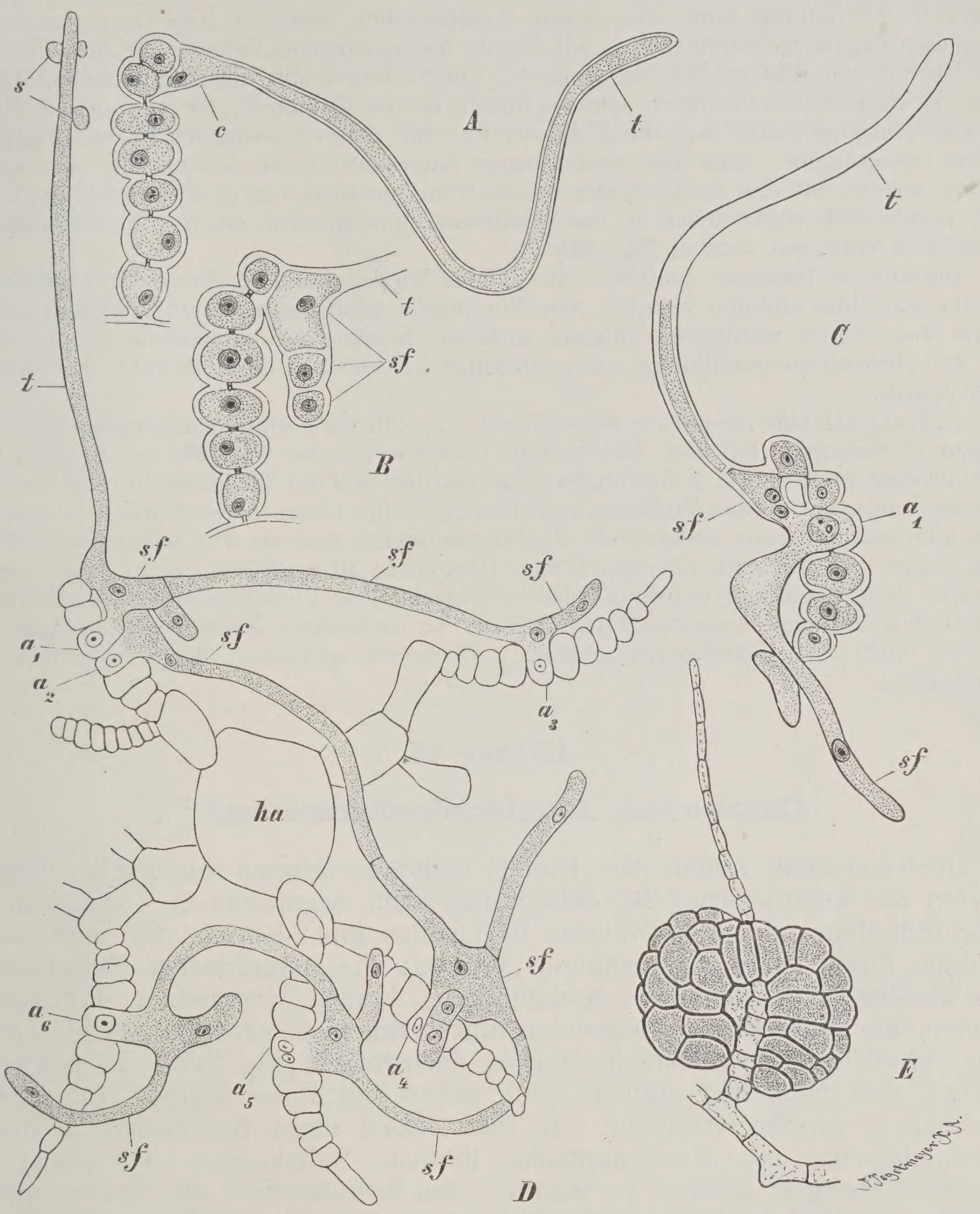


Fig. 294. Dudresnaya coccinea. *A* Carpogonast, Carpogon *c* mit Trichogyn *t*. *B* Nach der Befruchtung, Carpogon zum sporogenen Faden *sf* ausgewachsen. *C* Verbindung dieses Fadens mit der ersten Auxiliarzelle a_1. *D* Verzweigung des sporogenen Fadens und Verbindung mit 6 Auxiliarzellen a_1—a_6. Die Zellen a_3—a_6 sind Ästen eingefügt, die von der Achse *ha* entspringen. Schema. *E* Reifer Carposporenknäuel, aus einem Ast hervorgegangen. Vergr. *A*—*C* ca. 500, *D* 250, *E* 300. (*A*—*D* nach Oltmanns, *E* nach Bornet.)

phyt), also eine Art von Generationswechsel, vergleichbar demjenigen der Moose und Farne. Die Tetrasporenbildung stellt eine ungeschlechtliche Form der Vermehrung der geschlechtlichen Generation vor und geht der Bildung der Sexualorgane voraus.

Als Beispiel für kompliziertere Ausbildung der aus der befruchteten Eizelle hervorgehenden sporenbildenden Generation sei die an den wärmeren europäischen Küsten ver-

breitete *Dudresnaya coccinea*, mit cylindrischem, reich verzweigtem Thallus, gewählt (Fig. 294). Die Carpogonäste bestehen aus ca. 7 Zellen; die endständige Carpogonzelle trägt ein sehr langes Trichogyn. Nach der Befruchtung treibt die Carpogonzelle einen Zellfaden nach unten, der sich weiterhin verlängert und verzweigt und successive mit bestimmten, dichten Inhalt führenden vegetativen Zellen, den Auxiliarzellen, durch Fusion in Verbindung tritt. Die ersten Auxiliarzellen liegen in dem Carpogonast, die folgenden in anderen Seitenästen. Alle Kerne des sporogenen Fadens sind durch Teilung des befruchteten Eikerns hervorgegangen. Die Fusionen mit den Auxiliarzellen führen nicht zu Kernverschmelzungen, sondern dienen nur der Ernährung der sporogenen Fäden. Aus der Carpogonzelle kann noch ein zweiter und dritter sporogener Faden in gleicher Weise entspringen. Aus den blasenförmig angeschwollenen Zellen der sporogenen Fäden, welche mit den Auxiliarzellen fusionierten, sprossen nun je 2 Ausstülpungen hervor, welche sich weiter teilen zu den rundlichen Sporenhaufen, aus dem die Carposporen schließlich entlassen werden (Fig. 294 *E*).

Besonderes Interesse verdient eine kleine Nordseefloridee, *Harveyella mirabilis* (31), welche auf einer anderen Rotalge, der Rhodomela subfusca, als echter Schmarotzer in Form von kleinen weißlichen Polstern auftritt. Infolge der parasitischen Lebensweise ist die Chromatophorenbildung ganz unterdrückt, so daß diese Floridee sich wie ein Pilz verhält.

Officinell sind *Gigartina mammillosa* (Fig. 291) mit zäpfchenförmigen, 2—5 mm langen Cystocarpien auf dem Thallus und *Chondrus crispus* (Fig. 290) mit ovalen, dem Thallus eingesenkten, ca. 2 mm langen Cystocarpien auf der Thallusfläche und ähnlichen Tetrasporenlagern an den Thallusendsegmenten. Beide leben in der Nordsee als purpurrote oder purpurbraune festsitzende Algen; getrocknet sind sie von hellgelblicher Farbe und liefern das officinelle *Carrageen* oder irländische Moos (Pharm. germ., austr., helv.), das zur Gallertbereitung verwandt wird. — Verschiedene Florideen liefern das ebenfalls zur Gallertbereitung benutzte Agar-Agar; so *Gracilaria lichenoides* das Agar von Ceylon (auch Fucus amylaceus genannt); *Eucheuma spinosum*, Agar von Java und Madagaskar.

Klasse XI.

Characeae, Armleuchtergewächse (32).

Die Characeen bilden eine isoliert stehende Gruppe von grünen Thallophyten mit komplizierten Sexualorganen. Sie vegetieren in Form von oft über fußhohen submersen Wiesen in Teichen und Bächen. Sie sind ausgezeichnet durch ihren regelmäßigen Aufbau; die cylindrischen Hauptachsen des Thallus sind gegliedert, bestehen aus langen Internodien und kurzen Knoten, an denen kürzere begrenzte, aus wenigen Gliedern bestehende ebenfalls cylindrische Seitenäste in Quirlen entspringen (Fig. 295). Diese Seitenachsen sind entweder einfach oder tragen an ihren Knoten kurze Ausstrahlungen zweiter Ordnung. In der Achsel eines Seitenastes in jedem Quirl entspringt eine der Hauptachse ähnliche Seitenachse. So kommt ein armleuchterartiger Habitus zu stande. Am Grunde sind die Achsen mittels farbloser verzweigter Rhizoidfäden im Substrat befestigt. Letztere entspringen aus den Knoten.

Sowohl die Haupt- als die Seitenachsen wachsen an ihren Spitzen mittels je einer Scheitelzelle heran, die sich durch Querwände successive in Segmente teilt, jedes Segment teilt sich nochmals durch eine Querwand und es entwickelt sich nun aus der unteren Zelle die langgestreckte, ungeteilt bleibende Internodienzelle; aus der oberen Zelle entwickeln sich dagegen unter weiterer Teilung die Knotenscheibe, ferner die Seitenachsen und an der unteren Partie der Hauptachsen auch die Rhizoiden. Während bei der Gattung *Nitella* die lange Zelle eines jeden Internodiums nach außen hin frei bleibt, wird sie bei der Gattung *Chara* dagegen mit einer einschichtigen Rindenlage

aus längs verlaufenden Zellreihen, die aus den Basilarzellen der Seitenachsen an den Knoten hervorwachsen, dicht umschlossen.

Die Internodialzellen der Characeen enthalten zahlreiche, durch Fragmentation sich vermehrende Kerne in dem wandständigen, lebhafte Strömung aufweisenden Plasma und zahlreiche grüne Chromatophoren.

Ungeschlechtliche Fortpflanzung durch schwärmende oder andere Sporen fehlt bei den Characeen vollständig. Die sexuelle Fortpflanzung besteht in Eibefruchtung. Die weiblichen Organe, hier als Eiknospen

Fig. 295. Chara fragilis. Ende eines Hauptsprosses. Nat. Gr.

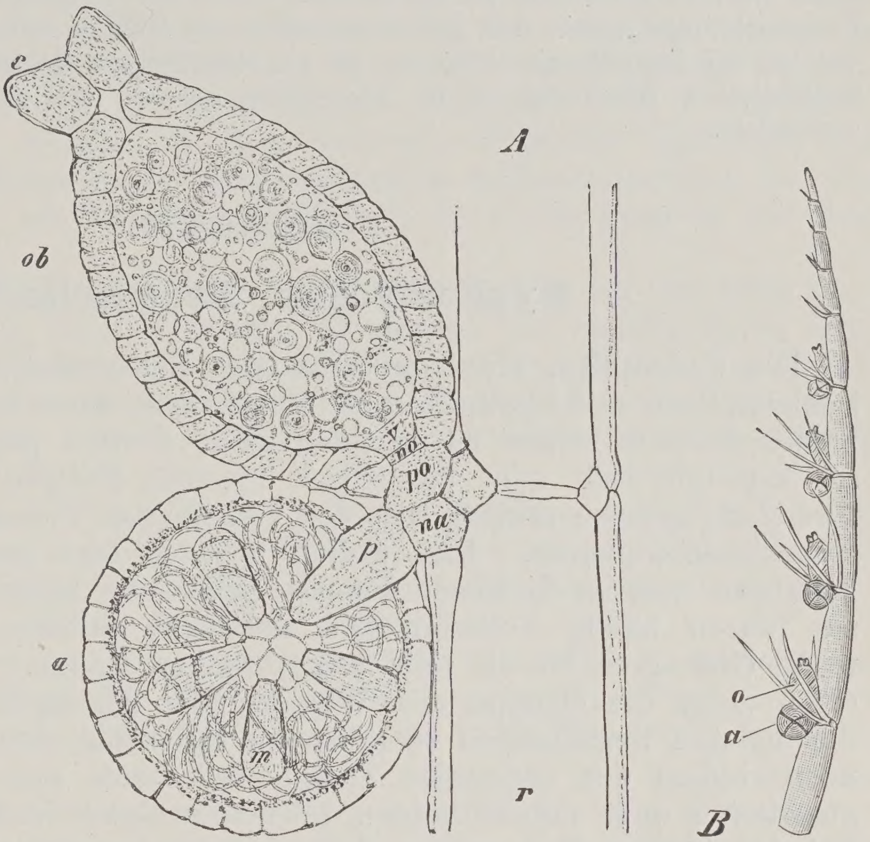


Fig. 296. Chara fragilis. *A* medianer Längsschnitt durch eine Seitenachse *r*, *a* Antheridium und zwar *na* Basilarknotenzelle, *p* Stiel, *m* die Griffzellen, aus deren aufsitzenden Zellen die Spermatozoidenmutterzellfäden entspringen, *ob* Eiknospe und zwar *po* Stielzelle, *no* die Knotenzelle, *v* die Wendungszelle, *c* das Krönchen. Vergr. 60. *B* ganze Seitenachse. Vergr. 6.

bezeichnet, sind eiförmig und ebenso wie die kugeligen, rotgefärbten Antheridien an den Knoten der Seitenachsen inseriert und mit bloßem Auge sichtbar. Meist sind die Pflanzen monöcisch, einige Arten auch diöcisch.

Die Eiknospen (Fig. 296 *ob*) enthalten eine große mit Öltropfen und Stärkekörnern vollgepfropfte Eizelle, welche von spiralig gewundenen Hüllschläuchen dicht umschlossen wird. Letztere endigen in dem Krönchen *c*, zwischen dessen Spalten die Spermatozoiden eindringen. Die Antheridien (Fig. 296 *a*) besitzen eine aus 8 flachen, innen durch vorspringende Wände gefächerten Schildern bestehende Wandung und erzeugen die zahlreichen korkzieherartig gewundenen, mit 2 Cilien versehenen Spermatozoiden (Fig. 97 *A*), die in ihrer Form von allen übrigen Algen abweichen und sich denen de Bryophyten nähern, aus den Zellen langer, quergefächerter, im Innern entspringender Zellfäden.

Nach der Befruchtung umgibt sich die Eizelle mit einer dicken farblosen Haut und

auch die Innenwände der Schläuche verdicken sich, werden braun und mit einer Schicht von amorphem kohlensaurem Kalk bedeckt, während die äußeren weichen Zellwände der Schläuche bald nach dem Abfallen der Frucht vergehen.

In seltenen Fällen, so bei *Chara crinita*, kommt es vor, dass die Eizellen parthenogenetisch, ohne Befruchtung, zu Sporen sich weiter entwickeln. In unserer Flora treten nur weibliche Exemplare dieser Art auf.

Bei der Keimung der Eisporen entsteht zunächst ein einfach gestalteter, fadenförmiger, mehrgliederiger Vorkeim, an dessen erstem Knoten Rhizoide entspringen, während am zweiten einige einfache Seitenachsen stehen, sowie eine oder mehrere Hauptachsen, aus deren weiterer Verzweigung die fertige Pflanze heranwächst.

Einige Characeenarten zeichnen sich durch die Bildung besonderer, mit Stärke dicht erfüllter Knöllchen an der unteren Partie der Achsen aus. Dieselben dienen als Überwinterungsorgane und gehen entweder aus Knoten mit verkürzten Astquirlen hervor (so bei *Tolypellopsis stelligera*, wo sie sternförmige Gestalt haben) oder entsprechen modifizierten Rhizoiden (z. B. bei *Chara aspera*, wo sie kugelige, weiße Gebilde vorstellen).

Klasse XII.

Hyphomycetes, Fadenpilze ([33, 34]).

Die Fadenpilze, Hyphomycetes oder Eumycetes, welche früher mit den Schleimpilzen und Spaltpilzen als Fungi bezeichnet wurden, aber von diesen beiden Klassen scharf zu scheiden sind, dürften phylogenetisch von Algen als saprophytisch oder parasitisch lebende Formen abzuleiten sein. Aus ihrer Lebensweise erklärt sich der vollständige Verlust des Chlorophylls und der Chromatophoren. Ihre Zellen besitzen eine meist dünne chitinhaltige Membran und im farblosen Plasma zahlreiche winzige Zellkerne (Fig. 62); sie führen häufig Fetttröpfchen, nie echte Stärke, an deren Stelle vielmehr Glukogen oft in sehr beträchtlicher Menge. Unter den Hyphomyceten zeigt die Gruppe der Wasser- oder Algenpilze, *Phycomyceten*, noch die meisten Beziehungen zu gewissen Chlorophyceen, besonders den Siphoneen, indem der vegetative Thallus bei ihnen aus einer einzigen einfach gestalteten oder fadenförmigen reichverzweigten vielkernigen Zelle besteht. Bei den übrigen Fadenpilzen dagegen, den *Ascomyceten* und *Basidiomyceten*, ist der Thallus zwar auch aus vielfach verzweigten Fäden zusammengesetzt, dieselben bestehen aber aus einfachen Zellreihen. Die Pilzfäden bezeichnet man als Hyphen und unterscheidet demnach ungegliederte und gegliederte Hyphen. Die Gesamtheit des fädigen vegetativen Thallus heißt Mycelium. Die Mycelhyphen sind in der Regel unter sich frei oder nur lose verfilzt, sie durchziehen nach allen Richtungen hin das Substrat und saugen aus demselben ihre gesamte Nahrung auf. Bei manchen Pilzen mit gegliedertem Mycel können aber die Hyphen Gewebekörper durch reiche Verzweigung bilden. Wenn die Fäden dabei dicht zusammenlagern und sich in kurze Zellen teilen, so entsteht auf diese Weise ein Scheinparenchym, Pseudoparenchym. Solches dichtes Hyphengewebe wird bei gewissen Arten erzeugt, wenn dieselben aus ihren Mycelien vegetative Ruhezustände, sogen. Sklerotien bilden, knollige oder strangartige feste pseudoparenchymatische Körper, die unter bestimmten Bedingungen wieder auskeimen (Fig. 106). Ferner bestehen die Fruchtkörper aus lockerem oder dichterem Hyphengewebe (Fig. 105).

Ungeschlechtliche und geschlechtliche Fortpflanzung treten uns bei den Fadenpilzen in so mannigfaltigen Formen entgegen, wie sie bei den anderen Thallophytenklassen nirgends wiederkehren. Die folgende Übersicht über

diese verschiedenartigen Fruktifikationen ergibt zugleich die Charakterisierung der 3 Hauptgruppen.

1. Bei den *Phycomyceten* oder Algenpilzen, bei denen allein das vegetative Mycelium bis zur Bildung der Reproduktionsorgane einzellig ist, sind Sexualorgane vorhanden, entweder differenziert in Oogonien und Antheridien, also Oosporen liefernd, oder die beiden kopulierenden Sexualzellen, Gameten, von gleicher Beschaffenheit und Zygosporen liefernd. Jedoch ist bei manchen Arten ein Zurücktreten der Sexualität erwiesen, die Bildung der männlichen Organe oder auch die Kopulation unterbleibt und die Sporen entstehen parthenogenetisch.

Von ungeschlechtlichen Sporen sind drei verschiedene Formen zu unterscheiden. Bei den meisten Phycomyceten werden Sporangien erzeugt in der Regel aus den Endzellen bestimmter Myceläste oder Sporangienträger. Das gesamte Protoplasma des Sporangiums zerklüftet sich in zahlreiche Sporen, Endosporen, welche bei den wasserbewohnenden Gattungen als cilientragende Schwärmsporen aus den Sporangien entlassen werden, bei den terrestrischen dagegen mit Membran umkleidet, der Verbreitung in der Luft angepaßt sind.

Neben den Sporangien, oder auch ausschließlich, tritt bei gewissen Gattungen die Bildung von Conidien oder Exosporen ein, welche durch Hervorsprossung und Abschnürung von Sporenzellen aus den Enden von Mycelzweigen, die dann meist zu besonderen Conidienträgern ausgebildet sind, entstehen. Die Conidien sind behäutete, vorzugsweise an die Verbreitung in der Luft angepaßte Sporen.

Die dritte nur vereinzelt bei Phycomyceten vorhandene Form von Sporen sind die Chlamydosporen (bekleidete Sporen) oder Gemmen. Sie entstehen in einfachster Weise, meist in Reihen, direkt aus den Hyphen durch Querteilung und Loslösung der so gebildeten Zellen.

2. Die große Gruppe der *Ascomyceten* oder Schlauchpilze im weiteren Sinne weist in ihren typischen Formen als Sexualorgane Oogonien (hier Carpogone genannt) und Antheridien auf. Die befruchtete Carpogonzelle wird aber nicht zu einer ruhenden Oospore, sondern entwickelt sich im Zusammenhang mit der Mutterpflanze weiter, sproßt Fäden aus, deren Enden schließlich zur Bildung von eigenartigen Sporangien, den Sporenschläuchen oder Asci, übergehen. Wie bei den Florideen entsteht also aus der befruchteten Eizelle eine ungeschlechtliche Generation.

Der für diese ganze Gruppe sehr charakteristische, meist langgestreckte Ascus (Fig. 305) erzeugt nach vorausgegangener Verschmelzung seiner beiden Kerne die Sporen durch freie Zellbildung (Fig. 95) gewöhnlich in ganz bestimmter Zahl, vorherrschend zu 8. Im Gegensatz zu den Sporangien der Phycomyceten wird hier nicht das gesamte Plasma zur Bildung der Ascosporen verbraucht.

Die aus den Carpogonen entstehenden Asci sind bei den meisten Gruppen der Ascomyceten zu besonderen Fruchtkörpern vereinigt, an deren Zusammensetzung sich auch vegetative Hyphen des Myceliums beteiligen.

Aber nicht bei allen Ascomycetengruppen sind bis jetzt solche Sexualorgane nachgewiesen und bei gewissen Ordnungen fehlen sie, vielleicht durch Reduktion, vollständig, so daß die Asci direkt aus dem Mycelium hervorgehen.

Bei vielen Ascomyceten werden auch Conidien, selten dagegen Chlamydosporen als ungeschlechtliche Sporen erzeugt, bevor es zur Bildung von Sexualorganen oder von Asci kommt.

3. Die dritte große Gruppe, die *Basidiomyceten* im weiteren Sinne, ermangelt der Sexualorgane. Hier scheinen sie aus dem Entwicklungsgang

vollständig ausgeschaltet zu sein. Die ungeschlechtliche Vermehrung vollzieht sich nicht durch Asci, sondern nur durch Conidien und vielfach auch durch Chlamydosporen, welche letztere bei den Ordnungen der Brand- und Rostpilze besonders typisch auftreten. Die Basidiomyceten sind ausgezeichnet durch eine besondere Form der Conidienbildung, auf sogenannten Basidien, das sind ein- oder vierzellige Conidienträger von bestimmter Form, an denen die Basidiosporen in bestimmter Zahl, gewöhnlich zu 4, hervorsprossen (Fig. 318). Die Basidien sind ferner auch dadurch von den übrigen Conidienträgern unterschieden, daß in ihre Anlage 2 Zellkerne eintreten, welche miteinander kopulieren, worauf erst die Kernteilung für die Basidiosporen erfolgt. Neben diesen Basidien können aber auch noch andere Formen von Conidienträgern in den Entwicklungsgang sich einschieben. Bei den komplizierteren Basidiomyceten sind die Basidien an oder in besonderen Fruchtkörpern, deren Anlage sich nicht auf Sexualorgane zurückführen läßt, angeordnet.

Die Systematik der Fadenpilze ist noch nicht zu einem sicheren Abschluß gediehen. Wahrscheinlich ist die Klasse keine einheitliche, und muß in mehrere selbständige Klassen zerlegt werden, wenn es gelingt, für die Ableitung der Gruppen von bestimmten Algenordnungen sichere Anhaltspunkte zu gewinnen. Die Phycomyceten weisen auf Grünalgen als Ausgangsformen hin, die Ascomyceten zeigen gewisse Beziehungen zu den Rotalgen, während für die Basidiomyceten der Anschluß direkt an Algen oder an die anderen Fadenpilze unsicher, vielleicht noch am ehesten bei Ascomyceten zu suchen ist.

O. Brefeld, dessen Untersuchungen wir die Erweiterung unserer Kenntnis von der Entwicklung so vieler Fadenpilze verdanken, faßt die ganze Klasse als einheitliche auf und leitet die Ascomyceten, deren sexuelle Fortpflanzung er nicht anerkennt, von den sporangientragenden, die Basidiomyceten dagegen von den conidientragenden Phycomyceten als höhere apogame Stufen ab. Diese Ableitungen sind aber durch neuere Arbeiten über die Sexualorgane der Ascomyceten und durch den Nachweis wesentlicher Unterschiede zwischen Sporangien und Sporenschläuchen in Frage gestellt.

1. Unterklasse. Phycomycetes, Algenpilze (35).

Die durch ihr einzelliges ungegliedertes, an Siphoneen (Vaucheria) erinnerndes Mycel charakterisierten Algenpilze gliedern sich nach der Beschaffenheit der Sexualorgane in zwei Gruppen. Die *Oomyceten* erzeugen Oogonien und Antheridien, die *Zygomyceten* dagegen gleichgestaltete Sexualzellen, die sich hier aber vielleicht von ursprünglich verschiedenen Sexualorganen ableiten.

1. Ordnung. Oomycetes.

Die hierher gehörigen Gattungen leben teils saprophytisch auf faulenden Pflanzen oder Tieren, teils parasitisch in den Geweben höherer Pflanzen oder auch auf Insekten.

Als wichtigste Vertreter seien die folgenden drei Familien erwähnt.

1. Nur bei der kleinen Familie der *Monoblepharideen* (36) entlassen die Antheridien freie, cilientragende Spermatozoiden, während dagegen bei den übrigen Oomyceten der vielkernige Antheridiuminhalt sich nicht mehr in freie Spermatozoiden sondert, vielmehr durch Ausstülpungen des Antheridiums direkt in die Eizellen eingeführt wird.

Die *Monoblepharis*-Arten finden sich an faulenden Pflanzenresten im Wasser, vermehren sich ungeschlechtlich durch Schwärmsporen, die in größerer Zahl in Sporangien erzeugt werden. Die meist terminal stehenden Oogonien enthalten nur eine Eizelle (Fig. 297), die den Sporangien ähnlichen Antheridien entlassen eine Anzahl von mit einer Cilie versehenen Spermatozoiden, welche zu den Oogonien gelangen und durch die Öffnung derselben zur Eizelle hineinkriechen, die dann zu einer stachelig behäuteten

Oospore wird. Eine gewisse Ähnlichkeit mit der Algengattung Oedogonium (Fig 275) ist nicht zu verkennen.

2. An die erste Familie schließen sich die *Saprolegniaceen* (37) an, die mit ihren reich verzweigten Mycelien ebenfalls im Wasser meist saprophytisch an der Oberfläche faulender Pflanzen, Insekten und selbst auf lebenden Fischen vegetieren. Sie vermehren sich zunächst ungeschlechtlich durch terminale keulenförmige Sporangien (Fig. 298), in denen zahlreiche mit zwei Cilien begabte Schwärmsporen erzeugt und nach außen entleert werden. An älteren Mycelfäden bilden sich die Geschlechtsorgane aus (Fig. 299). Die kugeligen, vielkernigen Oogonien enthalten gewöhnlich mehrere oder viele Eizellen (bis 50), selten nur eine einzige. Die Eizellen sind anfangs vielkernig, die Kerne degenerieren aber in der Regel bis auf einen Eikern. Die Antheridien sind ebenfalls schlauchförmig und vielkernig, legen sich an die Oogonien an und treiben Befruchtungsschläuche in sie hinein bis zu den Eizellen. Hierauf bilden sich die Eizellen zu derbwandigen Oosporen um. Bei einigen Formen dieser wie auch der folgenden Familie kann sogar die Bildung der Antheridien gelegentlich, oder auch stets ausbleiben; die Eisporen reifen dann ohne Befruchtung, so daß also hier Parthenogenesis vorliegt (Fig. 299).

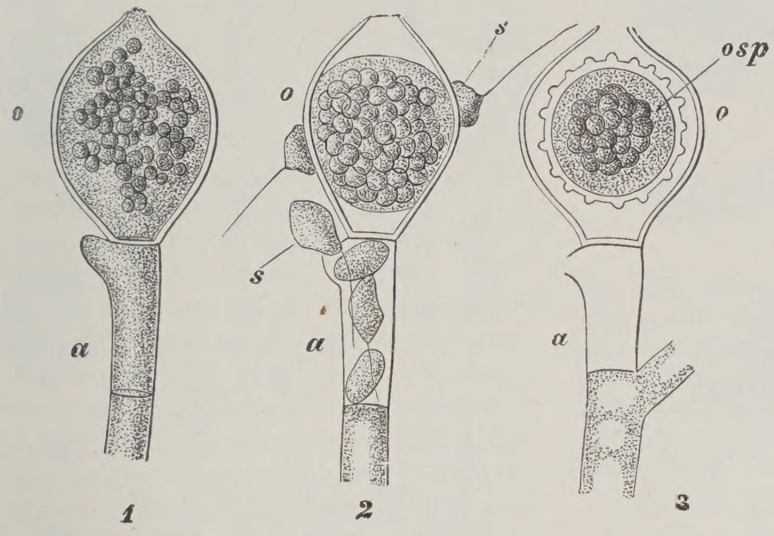


Fig. 297. Monoblepharis sphaerica. Ende eines Fadens mit einem Oogonium *o* und dem darunterliegenden Antheridium *a*, in *1* vor der Bildung der Eizelle und der Spermatozoiden, in *2* die letzteren *s* austretend und nach der offenen Mündung des Oogoniums hinkriechend, in *3* reife Oospore *osp*, das Antheridium entleert. Vergr. 800. (Nach CORNU.) Aus v. TAVEL, Pilze.

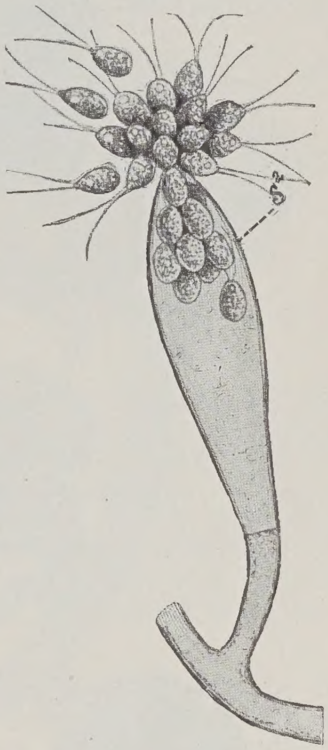


Fig. 298. Saprolegnia mixta. Sporangium, die 2 ciligen Zoosporen s^2 entlassend. (Nach G. KLEBS.)

3. Die *Peronosporeen* (38) sind parasitische Pilze, welche mit ihrem Mycel in den Geweben höherer Pflanzen schmarotzen und dieselben zum Absterben bringen. Gewisse Arten bewirken in nassen Jahren epidemische Erkrankungen von Kulturgewächsen und sind daher in hohem Maße schädlich, so vor allem die *Phytophthora infestans*, der Pilz der sogen. Kartoffelkrankheit. Seine Mycelfäden leben intercellular in den Blättern und Knollen der Kartoffelpflanze, sie senden kurze Saugschläuche oder Haustorien in die Zellen hinein und verursachen die Braunfärbung und das Absterben des Laubes und der Knollen. Bis jetzt sind Geschlechtsorgane bei dieser Art noch nicht beobachtet, sondern nur die ungeschlechtlichen Sporangien, welche als ovale Gebilde zu mehreren auf langen verzweigten, vorzugsweise auf der Blattunterseite aus den Spaltöffnungen herauswachsenden Sporangienträgern gebildet werden (Fig. 300). Die Letzteren erscheinen dem bloßen Auge als weißer Schimmel. Die Sporangien werden endständig angelegt und durch eine Querwand abgegliedert, dann wächst der Träger neben dem Sporangium vorbei, so daß dasselbe dann eine seitliche Stellung erhält. Noch vor der Teilung des Inhaltes lösen sich die Sporangien (*B*) ab, werden durch den Wind verbreitet und tragen so zur raschen Ausdehnung der Epidemie bei. Die Entwicklung der

Schwärmsporen aus den Sporangien erfolgt nur in Wasser und ist somit nur bei nassem Wetter möglich. Der Sporeninhalt teilt sich in mehrere, mit zwei Cilien versehene, ausschlüpfende Schwärmsporen (*C, D*), die zu einem neuen in das Blatt eindringenden Mycelfaden auskeimen. Die Sporangien können auch direkt ohne Teilung des Inhaltes und Bildung von Schwärmsporen zu Keimschläuchen auswachsen, nehmen in diesem Falle den Wert einer einzigen vom Träger abgegliederten Spore an und können dann auch als Conidien bezeichnet werden. Es läßt sich bei dem Kartoffelpilz, wie auch bei anderen Peronosporeen somit der Übergang von Sporangien zu Conidien verfolgen, eine Umbildung, die mit dem Übergang von der aquatischen zur terrestrischen Lebensweise hier zusammenhängt.

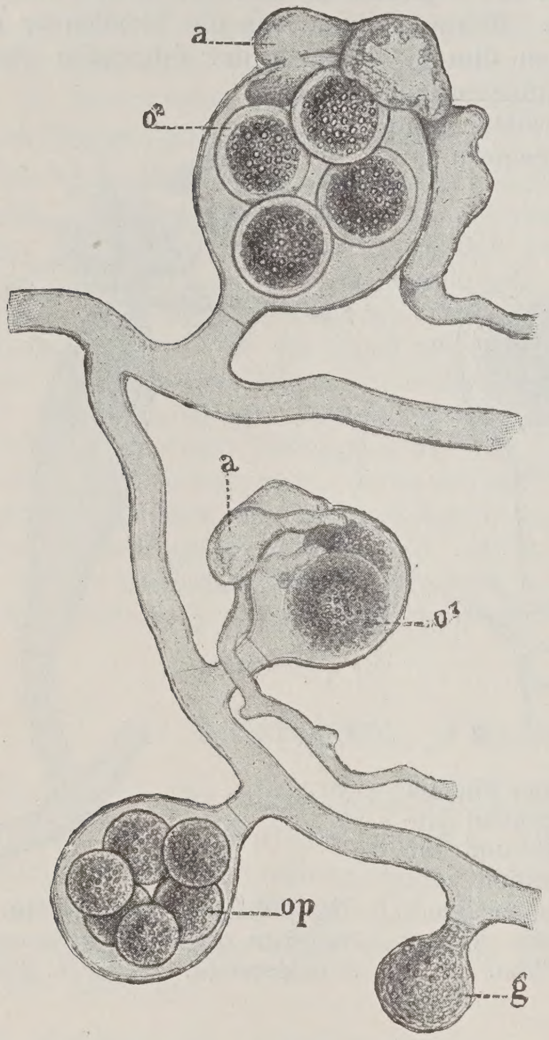


Fig. 299. Saprolegnia mixta. Faden mit Geschlechtsorganen. *a* Antheridium, das einen Befruchtungsschlauch in das Oogonium hineingetrieben hat; o^1 Eizelle, o^2 Oospore mit Membran umgeben; *op* parthenogenetische Oosporen; *g* junges Oogonium. (Nach G. Klebs.)

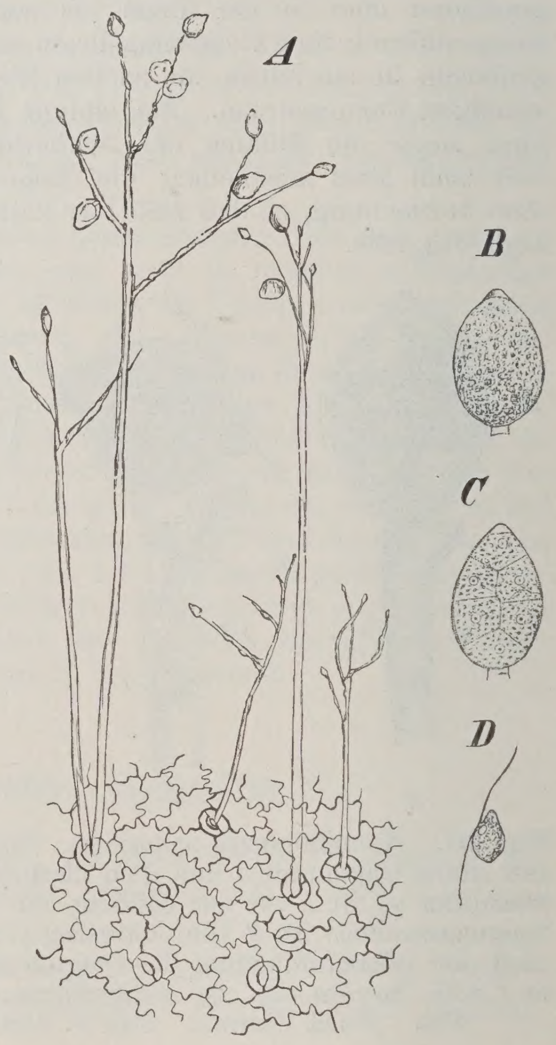


Fig. 300. *A* Oberflächenansicht der Blattepidermis von Solanum tuberosum mit den aus den Spaltöffnungen hervortretenden Sporangienträgern der Phytophthora infestans. Vergr. 90. *B* ein reifes Sporangium. *C* ein solches mit geteiltem Inhalt. *D* eine Schwärmspore. *B—D* Vergr. 540.

Plasmopara viticola, mit reich verästelten Sporangienträgern, ist ein ebenfalls sehr schädlicher Parasit, der Pilz des sogen. falschen Mehltaues der Blätter und Beeren des Weinstockes. Eine sehr häufige Art ist ferner *Albugo candida* (= *Cystopus candidus*) auf Cruciferen, besonders Capsella bursa pastoris, weiße Auftreibungen der Stengel verursachend. Die Sporangien werden bei dieser Art in langen Ketten an Mycelästen unter der Epidermis der Nährpflanze erzeugt und entleeren im Wasser zahlreiche Schwärmsporen.

Die Sexualorgane der Peronosporeen, welche an Vaucheria (Fig. 279) erinnern, entstehen meist im Innern der Nährpflanze, die Oogonien als kugelige Anschwellungen

von Hyphenenden, die Antheridien als schlauchförmige Ausstülpungen meist dicht unter den Oogonien. Beide sind durch Querwände abgegrenzt und vielkernig (Fig. 301). Im Verhalten der Kerne zeigen sich bei den einzelnen Arten interessante Verschiedenheiten. Bei *Peronospora parasitica*, *Albugo candida*, *Pythium*, *Plasmopara*, *Scleropora* differenziert sich im Plasma des Oogoniums eine einzige große centrale Eizelle oder Oosphäre, welche einen Eikern in der Mitte enthält, während die übrigen Kerne sämtlich in das peripherische sogen. Periplasma hineinwandern. Die Antheridien treiben nun einen Fortsatz in das Oogonium, der sich an der Spitze in die Eizelle öffnet und den männlichen Spermakern eintreten läßt (Fig. 301 *2*). Die Oosphäre grenzt sich sodann durch eine Membran ab (Fig. 301 *3*), die Kerne verschmelzen und das Periplasma wird zur Bildung der äußeren Sporenmembran, des Episporium, verbraucht. Bei Peronospora parasitica ist die reife Oospore einkernig, bei Albugo durch Kernteilung vielkernig. Albugo Bliti und A. Portulacae legen zwar ebenfalls eine centrale Oosphäre, von Periplasma umgeben, an, in dieselbe treten aber zahlreiche Kerne ein und auch der Antheridiumschlauch führt zahlreiche Kerne ein, welche paarweise mit den weiblichen Kernen kopulieren. Aus dieser zusammengesetzten Eizelle geht dann eine vielkernige Oospore hervor. Das Verhalten beider Arten kann als ein ursprüngliches betrachtet werden, während die einkernigen Oogonien der zuerst genannten Vertreter sich von den vielkernigen ableiten lassen. Eine vermittelnde Stellung nimmt nun *Albugo Tragopogonis* ein, deren Oosphäre zwar vielkernig angelegt, aber schließlich doch nur einen weiblichen Kern infolge Degenerierens der übrigen enthält. Die überzähligen Kerne in den Oogonien und Antheridien können als funktionslos gewordene Gametenkerne phylogenetisch betrachtet werden, ähnlich wie die überzähligen Eikerne bei gewissen Fucaceen (cf. p. 293). Die Oosporen keimen entweder direkt zu einem Mycelium aus oder erzeugen zunächst Schwärmsporen.

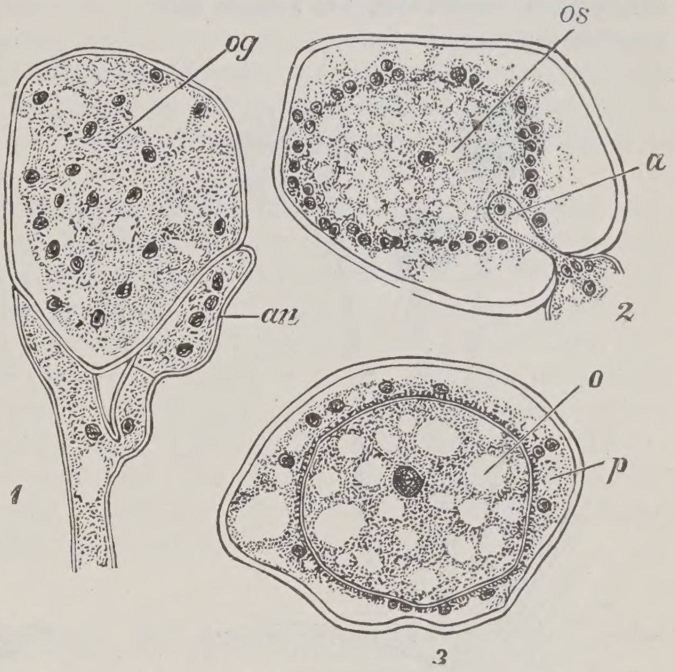


Fig. 301. Befruchtung der Peronosporeen. *1* Peronospora parasitica. Junges vielkerniges Oogonium *og* und Antheridium *an*. *2* Albugo candida. Oogonium mit der centralen einkernigen Oosphäre und dem Befruchtungsschlauch *a* des Antheridium, welcher den männlichen Kern einführt. *3* desgl. Befruchtete Eizelle *o* umgeben von dem Periplasma *p*. Vergr. 666. (Nach WAGER.)

2. Ordnung. Zygomycetes (34, 39).

Zu den Zygomyceten oder Mucorineen gehören eine Anzahl der gewöhnlichsten Schimmelpilze, die vorwiegend auf faulenden pflanzlichen und tierischen Stoffen saprophytisch vegetieren und terrestrische Lebensweise führen. Die ungeschlechtliche Vermehrung geschieht durch unbewegliche, behäutete Sporen aus Sporangien oder durch Conidien. Die sexuelle Fortpflanzung besteht in der Kopulation zweier gleichwertiger Gametenzellen zu einer Zygospore.

Eine der verbreitetsten Arten ist der Kopfschimmel, *Mucor mucedo*, dessen zierlich verzweigtes Mycel weiße Schimmelrasen auf feuchtem Brot, Mist, Fruchtsäften bei Abschluß von frischer Luft bildet, ferner auf gleichen Substraten der Ausläufer treibende *Mucor stolonifer* (= *Rhizopus nigricans*) mit bräunlichem Mycelium. Bei den Mucorarten entstehen die kugeligen Sporangien (Fig. 302) an den Enden von senkrecht sich erhebenden dicken Mycelschläuchen durch Abgrenzung mittels Querwand, welche sich als sogen. Columella (Fig. 303 *1c*) vorwölbt. Das Plasma des Sporangiums zerfällt durch

fortgesetzte Zerklüftung in zahlreiche Sporen, die durch Zerfließen der Sporangiumwandung unter Aufquellung einer zwischen ihnen liegenden Zwischensubstanz entleert werden. Bei den auf Exkrementen häufig sich entwickelnden *Pilobolus*-Arten wird das Sporangium durch den stark turgeszierenden und an der Columella schließlich aufplatzenden Träger weit abgeschleudert.

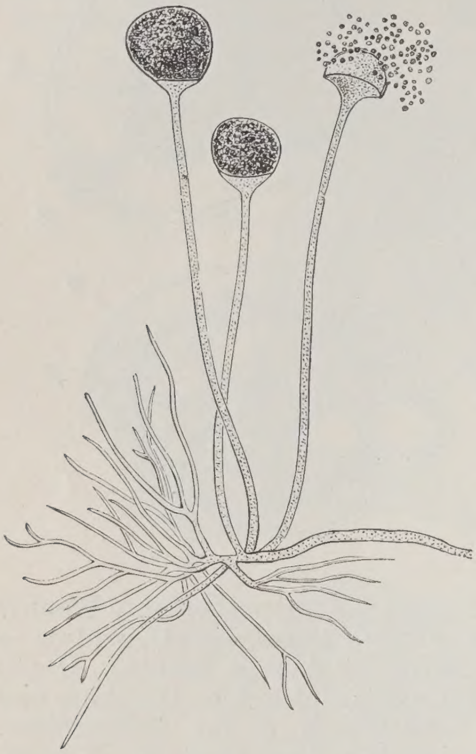


Fig. 302. Rhizopus nigricans (= Mucor stolonifer). Teil eines Myceliums mit 3 Sporangien, das rechts befindliche die Sporen entleerend mit stehenbleibender halbkugeliger Columella. Vergr. 38.

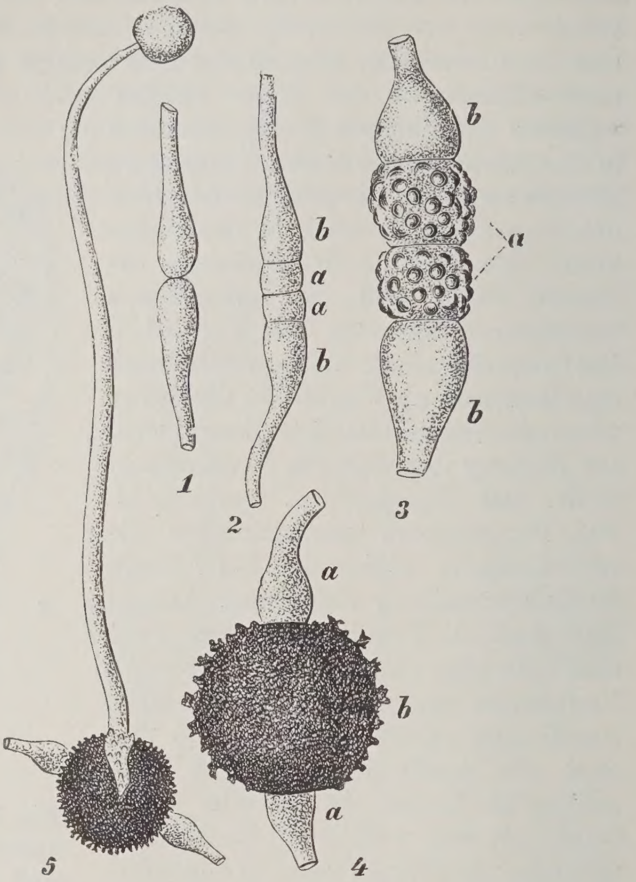


Fig. 304. Zygosporenbildung von Mucor Mucedo. *1* die Konjugationsäste. *2* Abgrenzung der konjugierenden Zellen *a* von den Suspensoren *b*. *3* weiteres Stadium, die konjugierten Zellen *a* sind als solche noch zu erkennen, die Warzen der Membran beginnen ihre Bildung. *4* reife Zygospore *b* zwischen den Suspensoren *a*. *5* Keimung der Zygospore mit einem Sporangium am Keimschlauch. *1*—*4* Vergr. 225, *5* Vergr. ca. 60. (Nach BREFELD.) Aus V. TAVEL, Pilze.

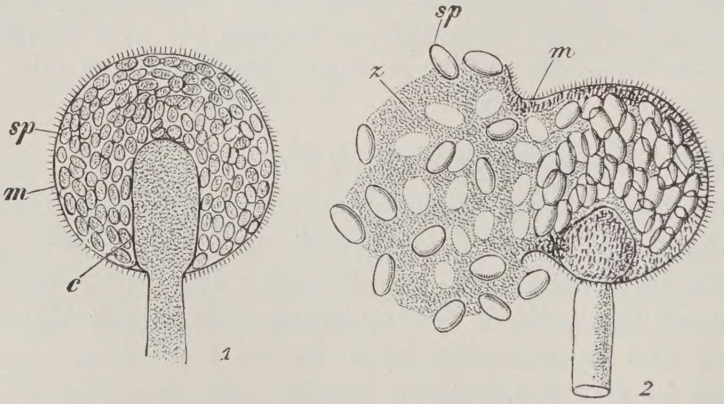


Fig. 303. *1* Mucor Mucedo. Sporangium im optischen Längsschnitt, *c* Columella, *m* Membran, *sp* Sporen. *2* Mucor mucilagineus, Sporangium in der Sporenentleerung begriffen, die Membran *m* zerfließend, die Zwischensubstanz *z* stark aufquellend. *1* Vergr. 225. *2* Vergr. 300. (Nach BREFELD.) Aus V. TAVEL, Pilze.

Unter gewissen Bedingungen wird die ungeschlechtliche Sporangienfruktifikation abgelöst durch die sexuelle Fortpflanzung, die darin besteht, daß an den Mycelschläuchen seitliche keulenförmige Äste hervorkommen, paarweise mit den Enden aufeinander stoßen

(Fig. 304) und dort die konjugierenden Gameten durch je eine Querwand abgrenzen. Die letzteren verschmelzen nun zu einer Zygospore mit warzenbesetzter Membran. Die Zygosporen keimen nach längerer Ruhe und es können dann direkt an den Keimschläuchen Sporangien gebildet werden (Fig. 304 *5*). Sowohl die Gameten als auch die Zygosporen (wenigstens bei der Gattung *Sporodinia* nach Gruber) sind vielkernig. Das Verhalten der Kerne bei der Kopulation ist nicht bekannt.

Auch innerhalb der Gruppe der Zygomyceten ist eine Reduktion der Sexualität zu verfolgen. Bei gewissen Mucorineen werden zwar die Konjugationsschläuche paarweise angelegt, es findet aber keine Verschmelzung mehr statt, sondern die Endzellen werden direkt zu Sporen, die man dann als Azygosporen bezeichnet, und endlich bei anderen Formen werden die an ihren Enden Azygosporen bildenden Schläuche einzeln am Mycelium angelegt. Auch stellt sich bei vielen Arten nur selten die Zygosporenbildung ein.

Bei *Mucor mucedo* unterliegt die Größe und die Sporenzahl der Sporangien auffallenden Schwankungen. Bei der Gattung *Thamnidium* nun hat sich ein Dimorphismus der Sporangien ausgebildet, ein größeres vielsporiges steht am Ende des Trägers und zahlreiche kleine, wenigsporige, sogen. Sporangiolen, an wirtelig verzweigten Seitenästen des Trägers. Letztere können sogar unter bestimmten Ernährungsbedingungen nur eine einzige Spore ausbilden und auf diese Weise zu Conidien werden. Bei der tropischen Gattung *Choanephora* ist der Dimorphismus am weitesten gegangen, indem hier neben den großen Sporangien auf anderen besonderen Trägern Conidien erzeugt werden. Endlich gibt es Zygomyceten (z. B. *Chaetocladium*), bei denen ausschließlich Conidien als ungeschlechtliche Fruktifikation auftreten. So haben wir also in derselben Pilzgruppe alle Übergänge vom vielsporigen Sporangium bis zur einzelligen Conidie.

2. Unterklasse. Ascomycetes, Schlauchpilze (3, 34, 40).

Charakteristisch für die Ascomyceten, deren Mycel gegliedert ist, sind die Sporenschläuche oder Asci (Fig. 305). Der junge Ascus ist zunächst zweikernig, wird dann durch Fusion beider Kerne einkernig. Dieser Kern teilt sich successive in acht Kerne, um die sich die acht Sporen in der in Fig. 95 dargestellten Weise durch freie Zellbildung abgrenzen. Die mit Membran umgebenen Sporen liegen gewöhnlich in einer Längsreihe und werden durch Verquellen des übrigen Plasmas aus dem aufgeplatzten Scheitel des Schlauches entleert.

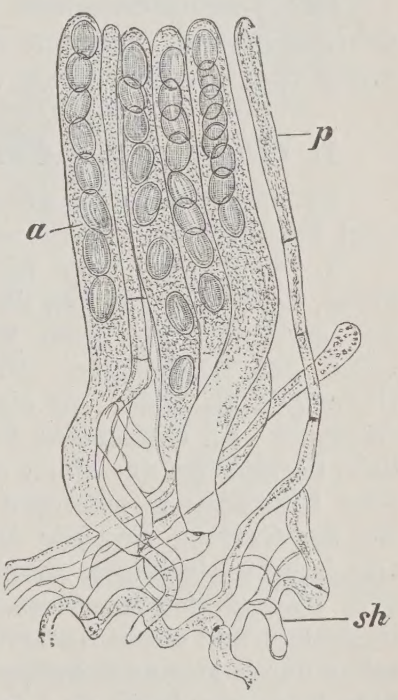


Fig. 305. Partie aus dem Hymenium von Morchella esculenta, *a* Asci, *p* Paraphysen, *sh* subhymeniales Gewebe. Vergr. 240.

Die meisten Ascomyceten bilden mehr oder weniger komplizierte Fruchtkörper, Ascusfrüchte, in oder auf denen die Asci sich vorfinden. Als erste Anlage dieser Fruchtkörper sind vielfach besondere Organe, Carpogone nachgewiesen. Für bestimmte Gattungen (Sphaerotheca Fig. 306, Pyronema Fig. 310) ist durch Harper die bereits von De Bary angenommene Befruchtung dieser Carpogone durch Antheridien festgestellt, so daß eine weitere Verbreitung dieser Vorgänge innerhalb der Gruppe wahrscheinlich ist; möglich ist aber auch, daß in der Tat bei manchen Ascomyceten die schwierig nachweisbaren Sexualorgane nicht mehr zur Ausbildung gelangen.

Aus den Carpogonen gehen nun durch Aussprossen ascogene Fäden hervor, die schließlich die Sporenschläuche als letzte Auszweigungen liefern.

An der Zusammensetzung der Früchte beteiligen sich auch sterile, die Hülle liefernde Hyphen, welche unterhalb der Carpogone entspringen. Beide Hyphenarten sind immer scharf geschieden. In vieler Beziehung erinnern also die Ascomyceten an die Florideen, bei denen ebenfalls eine ungeschlechtliche, die Carposporen liefernde Generation aus der befruchteten Eizelle hervorgeht.

Nach der Beschaffenheit der Ascusfrüchte unterscheiden wir die Ordnungen der Ascomyceten.

Bei den *Perisporiaceen* sind die kleinen kugeligen Früchte (Perithecien) allseitig von einer Hülle umschlossen, die erst durch Verwesen oder Aufbrechen die Ascussporen frei läßt.

Bei den *Discomyceten* treffen wir offene becher-, keulen- oder hutförmige Fruchtkörper an, sogen. Apothecien, an denen die Sporenschläuche parallel nebeneinander in einer oberflächlichen Schicht, dem Hymenium, angeordnet sind.

Bei den *Pyrenomyceten* sind die Perithecien krugförmig und die Asci stehen im Grunde des Hohlraums.

Bei den *Tuberaceen* sind die reifen unterirdischen knollenförmigen Fruchtkörper geschlossen.

Diesen Ordnungen reihen wir die *Exoasci* an, bei denen die Asci frei ohne Fruchtkörperbildung aus den Mycelzellen hervorgehen, ferner die sehr einfachen *Saccharomyceten* oder Hefepilze. Beide Gruppen können als reduzierte Ascomyceten aufgefaßt werden, andererseits werden sie auch vielfach mit einer Anzahl einfach gestalteter, von Brefeld als *Hemiasci* [41] zusammengefaßter Gattungen, bei denen die Sporen in unbestimmter großer Zahl in den Schläuchen erzeugt werden, als einfachste Formen an den Beginn der ganzen Klasse gestellt.

Die *Laboulbeniaceen* endlich, deren Asci in kleinen Perithecien eingeschlossen sind, nehmen infolge der eigenartigen Struktur ihrer Sexualorgane unter den Ascomyceten eine isolierte Stellung ein.

1. Ordnung. Perisporiaceae [33, 42].

Zu dieser Ordnung gehören als Ascomyceten mit geschlossenen Ascusfrüchten die zwei Familien der *Erysipheen* oder Mehltaupilze und der *Perisporieen.*

1. Die *Erysipheen* leben als schädliche Parasiten mit ihrem Mycel auf der Oberfläche, besonders auf den Blättern, höherer Pflanzen, überziehen dieselben spinnwebartig und entsenden aus ihren Mycelfäden Haustorien oder Saugfortsätze in die Epidermiszellen der Nährpflanze. Die reifen Ascusfrüchte (Perithecien) sind in diesen weißen Überzügen als kleine mit eigentümlichen Anhängseln versehene schwarze Körperchen zu erkennen. Im einfachsten Fall (z. B. bei der Gattung *Sphaerotheca*) umschließt das rundliche Perithecium nur einen einzigen Ascus mit acht Sporen, welcher von sterilen Hyphen oder Hüllfäden in mehreren pseudoparenchymatischen Schichten dicht umwachsen ist. Bei der Gattung *Erysiphe* dagegen finden sich in jedem Perithecium mehrere Asci vor. Durch unregelmäßiges Aufplatzen des Peritheciums werden die Sporen schließlich frei. Wie Harper nachgewiesen hat, besteht die erste Anlage des Peritheciums aus einem Oogonium und einem Antheridium. Beide werden an Hyphenästen als einkernige Sexualzellen durch je eine Scheidewand abgegrenzt, stehen dicht nebeneinander und der männliche Kern tritt durch ein Loch in der Zellwand in das Oogon über (Fig. 306 *1—4*). Nach der Befruchtung des Oogoniums wird dieses von Hüllfäden, welche aus der Stielzelle entspringen, umgeben (*5*) und das Oogonium selbst wird zu einem mehrzelligen Gebilde, dem Ascogon (*6*), aus dessen vorletzter mehrkerniger Zelle bei Sphaerotheca der achtsporige Ascus entsteht, während bei Erysiphe diese Zelle ascogene Schläuche treibt, die ihrerseits die hier in Mehrzahl vorhandenen Asci bilden. Die Mehltaupilze vermehren sich, bevor sie zur Peritheciumbildung übergehen, zunächst durch Conidien, welche an besonderen aufrechten Mycelzweigen in Form von Ketten von der Spitze nach abwärts abgegliedert werden.

Nur in Form solcher Conidienträger fruktifizierend tritt der Mehltaupilz des Weinstocks *Erysiphe Tuckeri* auf, ein in hohem Maße schädlicher Parasit, dessen Ascusfrüchte in Europa bis jetzt noch nicht gefunden sind. Seine Conidienform wird auch als Oidium Tuckeri bezeichnet.

2. Die *Perisporieen* sind mit den Erysipheen nahe verwandt, leben aber saprophytisch auf faulenden organischen Stoffen. Es gehören hierher zwei der gemeinsten Schimmelpilze, *Eurotium herbariorum* und *Penicillium glaucum*. Beide vermehren sich anfangs in reichlichem Maße nur durch Conidien, bevor sie zur Bildung der Perithecien übergehen.

Die Conidien von *Eurotium herbariorum* sind unter dem Namen Gießkannenschimmel bekannt, eine Bezeichnung, die von der eigentümlichen Gestalt der Conidienträger mit ihren radial ausstrahlenden Conidienreihen herrührt (Fig. 307). Diese Conidienträger stehen reihenweise nebeneinander und bilden so einen anfangs weißen, später blaugrünen Schimmel auf feuchten Vegetabilien, Früchten, Brot usw.

Die ebenfalls blaugrünen Schimmelrasen von *Penicillium crustaceum*, dem überall verbreiteten Pinsel- oder Brotschimmel, bestehen dagegen aus quirlig verzweigten aufrechten Conidienträgern (Fig. 307).

Die kugeligen Perithecien von *Eurotium* und *Penicillium* erscheinen später am Mycel, bei letzterer Gattung treten sie nur selten auf. Sie sind komplizierter gebaut als bei den Erysipheen. Ihre erste Anlage ist ein schraubig gewundenes Carpogon, welches bald (nach einer Befruchtung?) von Seitensprossen dicht umhüllt wird, sich später in dem dicht umschließenden, pseudoparenchymatischen sterilen Peritheciumgewebe verzweigt und zahlreiche kleine, rundliche, achtsporige Asci erzeugt. In den reifen Früchten erscheinen die Schlauchwandungen und das Pseudoparenchym bis auf die einschichtige Fruchtwand aufgelöst; letztere platzt unregelmäßig auf und entläßt die Sporen.

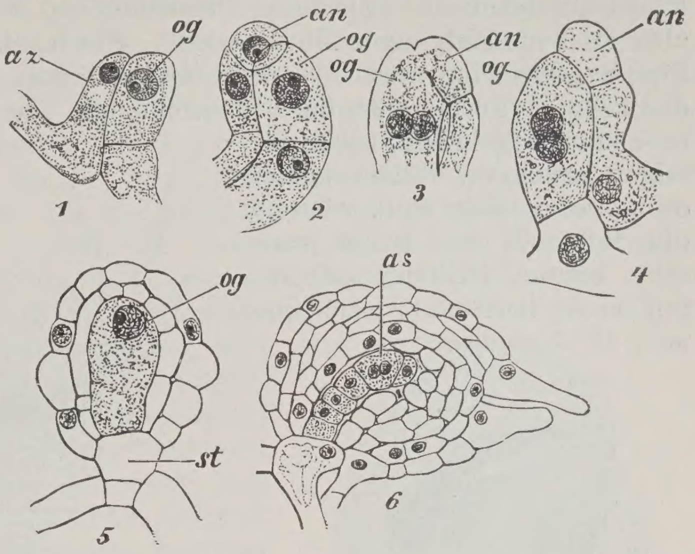


Fig. 306. Sphaerotheca Castagnei, Befruchtung und Peritheciumentwicklung. *1* Oogonium *og* mit angeschmiegtem Antheridiumzweig *az*, *2* Abgrenzung des Antheridiums *an*, *3* Übertritt des Antheridiumkernes zum Oogoniumkern, *4* Verschmelzung der Kerne, *5* Befruchtetes Oogonium mit zwei Lagen Hüllfäden aus der Stielzelle *st*, *6* Mehrzelliges Ascogon durch Teilung des Oogonium hervorgegangen, die vorletzte zweikernige Zelle, *as*, liefert den Ascus. (Nach Harper.)

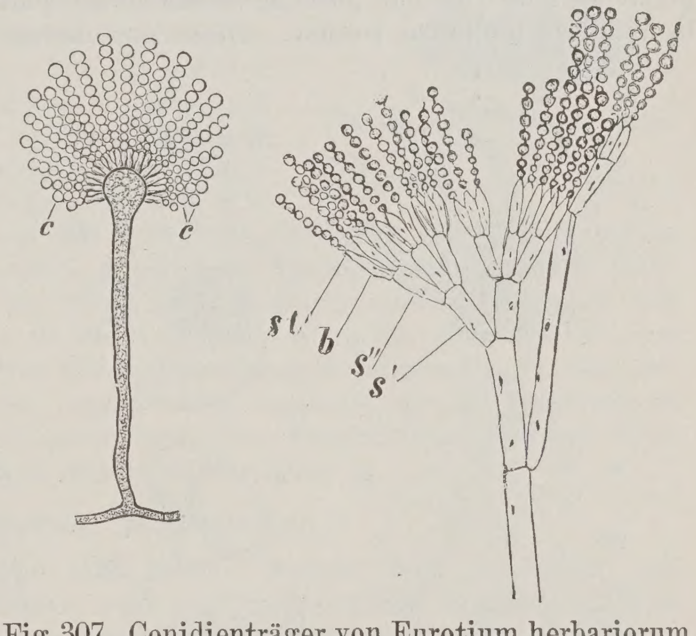


Fig. 307. Conidienträger von Eurotium herbariorum, links, von Penicillium crustaceum, rechts.

2. Ordnung. Discomycetes, Scheibenpilze(33, 43).

Die Discomyceten sind eine sehr formenreiche Gruppe von Schlauchpilzen; sie unterscheiden sich von den übrigen Ordnungen dadurch, daß ihre Schlauchfrüchte zur Reifezeit das aus den Sporenschläuchen und aus sterilen Saftfäden oder Paraphysen bestehende Hymenium offen an ihrer Oberseite tragen (Fig. 309). In der Ausbildung der Fruchtkörper machen sich bei den einzelnen Gruppen Verschiedenheiten geltend.

Die überwiegende Mehrzahl der Discomyceten, als deren Typus die Gattung *Peziza* im weiteren Sinne mit einigen hundert Arten gelten kann, vegetieren meist mit ihrem Mycel auf lebenden oder toten Pflanzenteilen, besonders auf faulendem Holz, zum Teil aber auch als Erdpilze in Humusboden. Sie besitzen napf-, becher-, trichter- oder kreiselförmige, fleischige oder lederartige Ascusfrüchte, meist von geringem Durchmesser. Eine der größten Formen ist die erdbewohnende *Peziza aurantiaca* (Fig. 308) mit bis 7 cm breiten, unregelmäßig becherförmigen Früchten, welche lebhaft orangerot gefärbt sind, während die Mehrzahl der Arten graue oder braune Färbung aufweist. Solche Becherfrüchte bezeichnet man als A p o t h e c i e n.

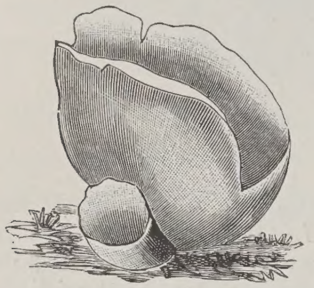


Fig. 308. Peziza aurantiaca. Nat. Größe. (Nach KROMBHOLZ.)

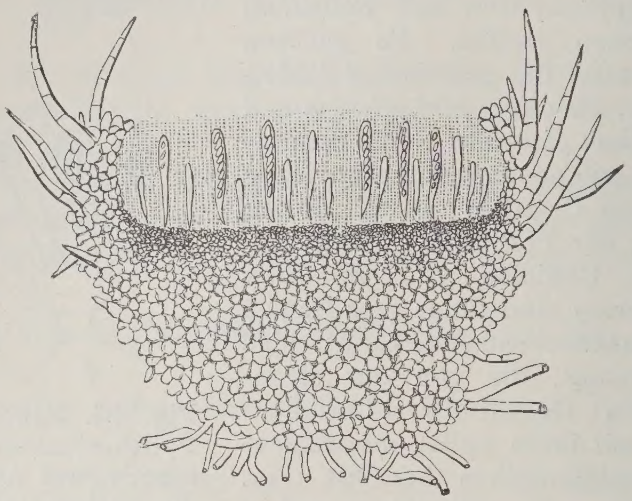


Fig. 309. Lachnea pulcherrima. Sporenreifes geöffnetes Apothecium. Zwischen den Paraphysen sind alte und junge Schläuche verteilt. (Nach WORONIN.) Aus v. TAVEL, Pilze.

Die A p o t h e c i u m e n t w i c k l u n g sei an dem Beispiel des durch R. HARPER eingehend untersuchten *Pyronema confluens* dargestellt, dessen etwa 1 mm breite, fleischige, gelbliche oder rötliche, gesellig beisammenstehende Fruchtkörper häufig auf Brandstellen in Wäldern gefunden werden. Diese Art erzeugt besonders große Carpogone, gewöhn-

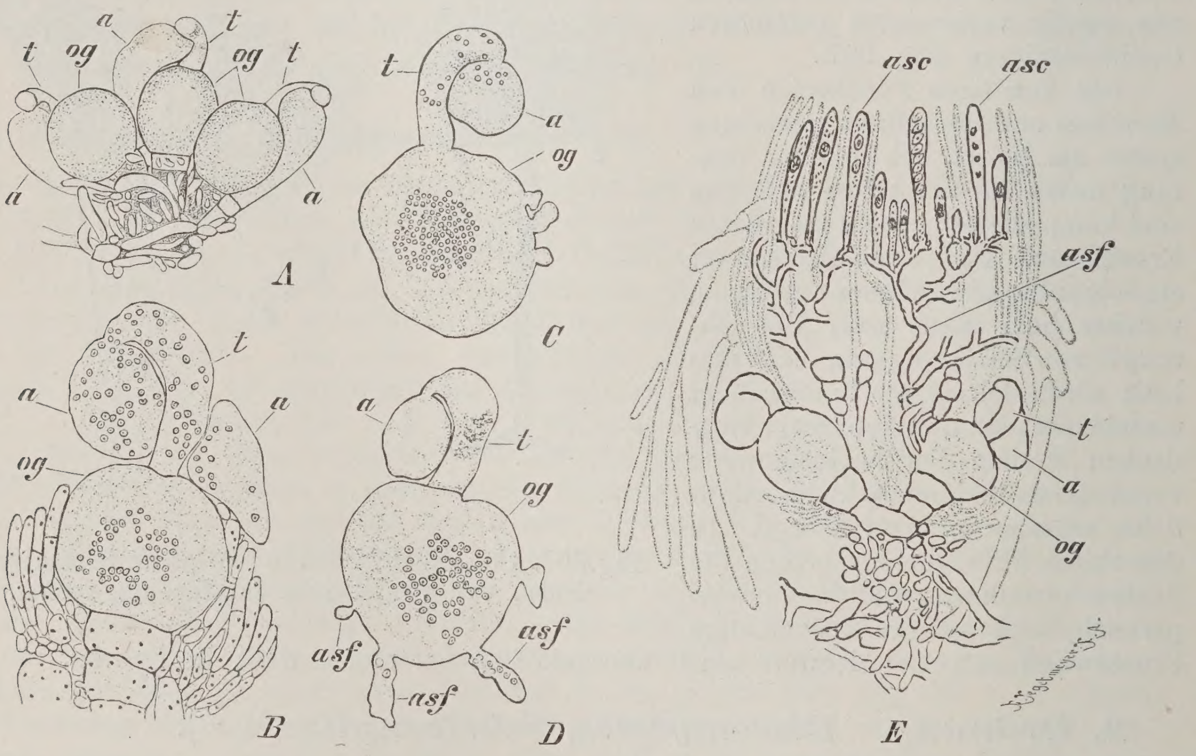


Fig. 310. Pyronema confluens. *A* Anlage eines Apotheciums. 3 Oogonien *og* mit Trichogyn *t*, 3 Antheridien *a*. *B* Fusion des Antheridiums mit der Trichogynspitze. *C* Basalwand des Trichogyns aufgelöst, männliche und weibliche Kerne im Centrum des Oogoniums. *D* Abgrenzung des Oogoniums durch neue Scheidewand gegen das Trichogyn. Bildung der ascogenen Fäden *asf*. *E* Längsschnitt durch junges Apothecium, *asc* Asci. *A*, *E* Vergr. ca. 150, *B—D* ca. 300. (Nach R. HARPER.)

lich mehrere als Anlage eines Apothecium (Fig. 310 *A*). Das Carpogon besteht aus dem kugeligen vielkernigen Oogonium, auf dessen Scheitel eine vielkernige, schnabelförmig gebogene Zelle, das Trichogyn, aufsitzt. Unter dem Oogonium entspringt das schlauchförmige, vielkernige Antheridium, dessen Spitze mit dem Trichogynscheitel mittels Durchbrechung der Wandung in offene Verbindung tritt. Die männlichen Kerne wandern zunächst in die Trichogynzelle ein, dann nach Durchbrechung der Basalwand derselben in das Oogonium, wo sie paarweise mit den zahlreichen Eikernen kopulieren, während die Trichogynkerne zu Grunde gehen. Nun grenzt sich die Eizelle wieder ab und treibt zahlreiche ascogene Schläuche, die die konjugierten Kerne aufnehmen, sich verzweigen und schließlich in den Asci endigen (*E*), während die sterilen Hyphen und die Paraphysen zwischen den Schläuchen aus den Hyphen unterhalb der Ascogone entspringen. Während bei den Erysipheen (Fig. 306) das befruchtete Oogonium erst zu einem mehrzelligen Organ, dem Ascogon sich teilt und aus einer Zelle desselben schließlich die Schläuche hervorgehen, wird also hier das Oogon direkt zum Ascogon. Bei der verwandten Gattung *Ascobolus* wird das Ascogon erst mehrzellig, alle Zellen entleeren aber ihren Inhalt in eine große, die dann die ascogenen Hyphen treibt. Im Bau der Carpogone und Ascogone kommen also mancherlei Modifikationen vor; bei den flechtenbildenden Ascomyceten (Fig. 343) ist wiederum ein anderer Typus der Carpogone ausgeprägt, ebenso bei den Laboulbeniaceen (Fig. 317). Weitere Untersuchungen werden wohl die verbindenden Glieder dieser auffallend verschiedenen Bildungen und ihre Beziehungen zu den einfachen einzelligen Geschlechtszellen der Erysipheen ans Licht ziehen.

Fig. 311. Morchella esculenta. $^4/_5$ nat. Gr.

Die eigenartigste und höchste Entwicklung erfährt der Fruchtkörper der Discomyceten in der Gruppe der *Helvellaceen* oder Morchelpilze, welche mit ihrem Mycel in humosem Boden vegetieren, ihre mannigfach gestalteten Fruchtkörper aber über die Oberfläche hervorstrecken. Bei der Gattung *Morchella*, Morchel (Fig. 311) besteht der große Fruchtkörper aus einem aufrechten dicken Stiel, auf welchem ein kegelförmiger oder abgerundeter Hut mit grubiger, runzelig vertiefter Oberfläche sich erhebt. Das Hymenium (Fig. 305) mit den achtsporigen Asci breitet sich auf der Oberfläche des Hutes aus. Die Morcheln sind vorzügliche Speisepilze (44), besonders *M. esculenta*, die Speisemorchel, mit blaßgelb-braunem rundlich eiförmigem Hut, bis 12 cm hoch, *M. conica*, die Spitzmorchel, mit dunkelbraunem kegelförmigem Hut, bis 15 cm hoch u. a. Ebenfalls eßbare Pilze sind die ähnlich gestalteten *Lorcheln*, deren Hut aber mützenförmig herabgeschlagen, unregelmäßig gelappt und blasig aufgetrieben ist, so *Gyromitra esculenta*, mit schwarzbraunem Hut und weißlichem Stiel u. a. In der äußeren Form ihrer Fruchtkörper gleichen diese höchst entwickelten Discomyceten vielfach den Basidiomyceten.

3. Ordnung. Pyrenomycetes, Kernpilze.

Außerordentlich formenreiche Gruppe von Pilzen, welche teils parasitisch auf Pflanzenteilen, besonders Rinde und Blättern, teils saprophytisch auf faulem Holz, Mist usw. leben. Einige wenige Gattungen leben parasitisch in Insektenlarven. Die Pyrenomyceten charakterisieren sich durch die krugförmige Gestalt ihrer Ascusfrüchte oder Perithecien, welche an der Spitze eine offene Mündung und in ihrem Grunde ein Hymenium aus Asci und haarförmigen, oft verzweigten Saftfäden oder Paraphysen (Fig. 312) besitzen. Die Seitenwände des Perithecium sind bis zur Mündung ausgekleidet mit ähnlichen Hyphenhaaren, den Periphysen. Die Ascussporen werden durch den Porus nach außen entleert, es streckt sich ein Ascus nach dem anderen infolge Wasseraufnahme in die Länge und ejakuliert nun durch den Porus die Sporen, oder die Entleerung geschieht im Innern des Perithecium und die Sporen werden, in aufquellendem Schleim eingebettet, nach außen hervorgepreßt.

Die einfachsten Pyrenomyceten besitzen freie, dem Mycel aufsitzende Perithecien (Fig. 312), die in Form von meist schwarz gefärbten kleinen Körperchen auf dem pflanz-

lichen Substrat auftreten, so bei den Gattungen *Sphaeria* und *Podospora*. Bei vielen anderen Kernpilzen aber kompliziert sich die Ascusfruchtbildung, die Perithecien erscheinen zu mehreren oder vielen dicht nebeneinander eingebettet in rundliche polsterförmige oder keulenförmige, zuweilen verzweigte Mycelkörper von dichter pseudoparenchymatischer Struktur. Man bezeichnet dieselben als Stroma.

Der Peritheciumbildung voraus gehen in dem Entwicklungsgang der meisten Pyrenomyceten mannigfache Nebenfruktifikationen, hauptsächlich Conidien, welche in verschiedener Weise von den Mycelfäden teils direkt, teils auf besonderen Trägern abgegliedert werden und zur Ausbreitung des Pilzes beitragen. Häufig erscheinen die Conidienträger zu Fruchtkörpern vereinigt. Eine besondere Form solcher Früchte sind die bei vielen Gattungen auftretenden Pykniden, kleine kugelige oder flaschenförmige Gebilde, welche als Auskleidung verzweigte Hyphenfäden besitzen, an deren Spitzen die Conidien, hier Pyknosporen (oder Pyknoconidien) genannt, abgegliedert werden (Fig. 313 *1*, *2*). Die verschiedenen Fruchtformen der Pyrenomyceten erscheinen in der Regel zeitlich nacheinander.

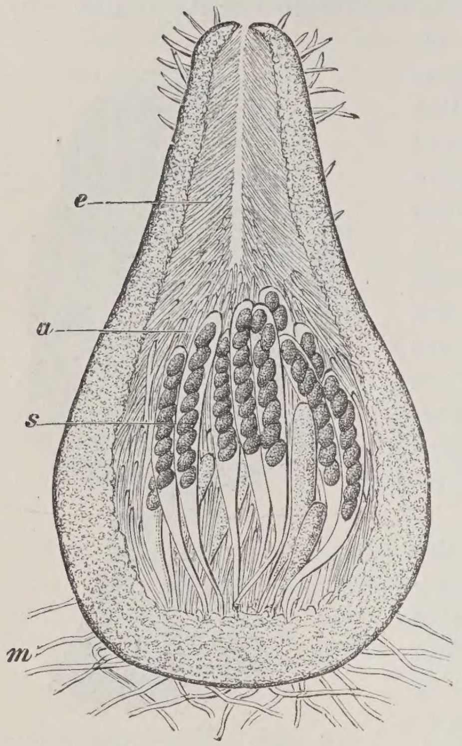


Fig. 312. Perithecium von Podospora fimiseda im Längsschnitt. *s* die Asci, *a* die Paraphysen, *e* die Periphysen, *m* Mycelfäden. Vergr. 90. (Nach v. TAVEL.)

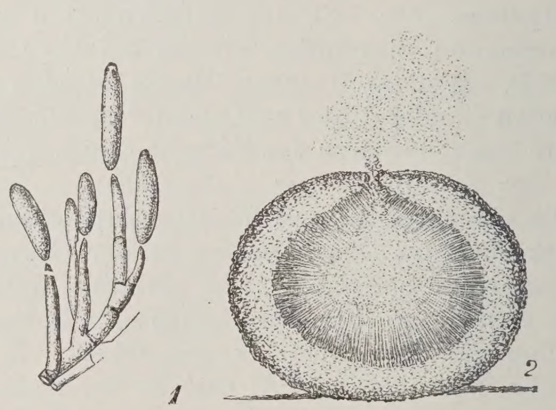


Fig. 313. *1* Conidienabschnürung an den Conidienträgern aus der Pyknide von Cryptospora hypodermia. Vergr. 300. (Nach BREFELD.) *2* Pyknide von Strickeria obducens, im Durchschnitt. Vergr. 70. (Nach TULASNE.) Aus v. TAVEL, Pilze.

Wichtig als officinelles Gewächs und als Schädling der Roggenfelder ist *Claviceps purpurea*, der Pilz des Mutterkorns. Derselbe lebt parasitisch in den jungen Fruchtknoten von Gramineen, hauptsächlich des Roggens. Die Fruchtknoten werden im Frühsommer durch die Ascussporen infiziert, mit Pilzmycel überzogen und dadurch deformiert. Das Mycel geht bald zur Bildung von Conidien über, welche auf kurzen seitlichen Trägern in kleinen Köpfchen vereinigt abgegliedert werden (Fig. 314 *A*). Zugleich findet Ausscheidung eines süßen Saftes statt, mit dem die massenhaft erzeugten Conidien zu Tropfen zusammenfließen. Dieser sogen. Honigtau des Getreides wird von Insekten gesucht und so auf andere Fruchtknoten übertragen. Die Conidienfruktifikation des Pilzes wurde früher als besondere Pilzgattung *Sphacelia segetum* bezeichnet. Mit der Erschöpfung dieser Fruktifikation und der Resorption des Fruchtknotengewebes durch das Mycel entsteht schließlich an Stelle des Fruchtknotens ein Sclerotium, dadurch, daß die Hyphenfäden dicht zusammenwachsen und namentlich in der Peripherie unter Querteilung zu einem geschlossenen Pseudoparenchym sich umbilden (Fig. 106). Diese langgestreckten, schwarzviolett gefärbten, aus der Kornähre mit schwach hornförmiger Krümmung hervorragenden Sklerotien werden als Mutterkorn, Secale cornutum bezeichnet (Fig. 314 *B*). Die mit Reservestoffen (Fett) dicht angefüllten Sklerotien fallen schließlich zu Boden und keimen erst im nächsten Frühsommer zur Zeit der Roggenblüte. Es brechen Hyphenbündel aus ihnen hervor, welche zu langgestielten, blaßrot gefärbten Köpfchen heranwachsen (*C*). In letzteren werden zahlreiche eingesenkte Perithecien, gleichmäßig über die Oberfläche verteilt, erzeugt (*D*, *E*).

Jedes Perithecium enthält in seinem Grund eine Anzahl Asci mit acht langen fadenförmigen Ascosporen. Dieselben werden durch den Porus ejakuliert und gelangen, durch den Wind verbreitet, auf die Grasähren.

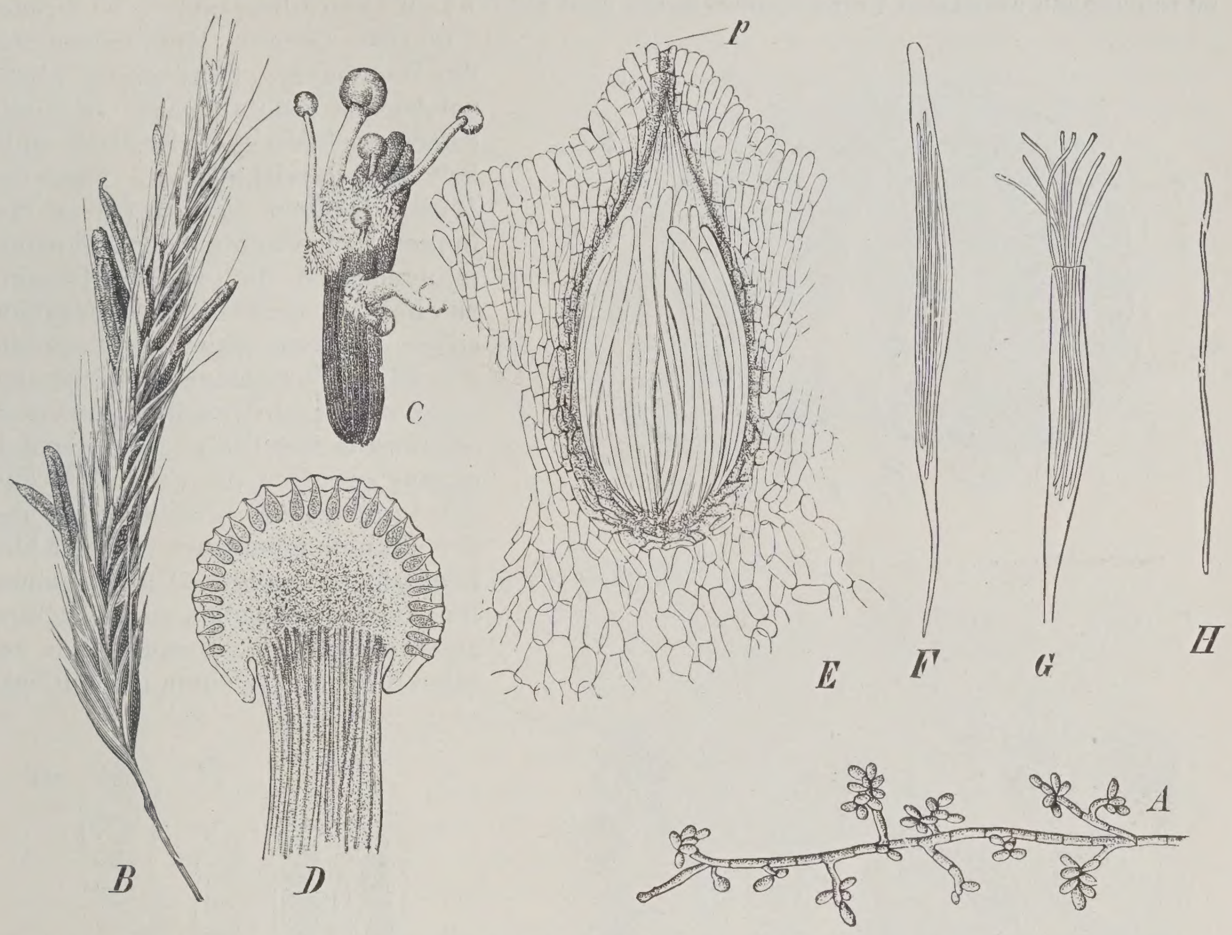


Fig. 314. Claviceps purpurea. *A* Conidienbildender Mycelfaden. *B* Roggenähre mit mehreren reifen Sklerotien. *C* gekeimtes Sclerotium mit gestielten zusammengesetzten Fruchtkörpern. *D* Längsschnitt durch einen Fruchtkörper mit zahlreichen Perithecien. *E* einzelnes Perithecium stärker vergrößert. *F* geschlossener Ascus mit acht fadenförmigen Sporen. *G* Austreten der Sporen. *H* einzelne Sporen. *A* nach Brefeld. *C—H* nach Tulasne. *B* phot. nach der Natur. — Officinell und giftig.

Officinell ist Secale cornutum (Pharm. germ., austr., helv.), Mutterkorn, das Sclerotium von *Claviceps purpurea.*

4. Ordnung. Tuberaceae, Trüffelpilze (45).

Die Tuberaceen oder Trüffelpilze sind saprophytische, im Humus der Wälder lebende Ascomyceten. Die Ascusfrüchte, unter der Bezeichnung Trüffeln bekannt, stellen knollenförmige Körper vor (Fig. 315), welche von einer dicken Hülle umgeben sind und im Innern die keulenförmigen Asci bergen (Fig. 315 *2*). Die Sporen werden zu wenigen in den Asci erzeugt, bei den echten Trüffeln (*Tuber*) meist zu vier und meist mit stacheligem oder netzförmig verdicktem Epispor versehen. Bei völliger Reife der Früchte liegen die reifen Sporen frei im Innern der Fruchthülle.

Manche Tuberaceen haben eßbare Fruchtkörper (44) von aromatischem Geruch und Geschmack. Sie werden besonders in Frankreich und Italien gesammelt und in den Handel gebracht. Die wichtigsten sind die vier als schwarze Trüffeln bezeichneten Arten der Gattung *Tuber*, nämlich *Tuber brumale*, *melanosporum*, *aestivum* und *mesentericum*, welche außen schwarz, rotbraun oder schwarzbraun gefärbt und mit Warzen versehen sind, ferner die weiße Trüffel, *Choiromyces meandriformis*.

5. Ordnung. Exoasci (46).

Die wichtigste Gattung ist *Taphrina* (incl. *Exoascus*), deren Arten als parasitische Pilze auf verschiedenen Bäumen leben und teils als einjährige Pilze sich subcuticular

nur in den Blättern entwickeln und fleckiges Erkranken derselben bewirken, teils mit ihrem Mycel im Gewebe der Nährpflanzen überwintern, somit jährlich wiederkehrende Krankheiten an denselben verursachen. Das Mycel veranlaßt dann die befallenen Sprosse zu reichlichen anomalen Verzweigungen, die man als H e x e n b e s e n bezeichnet. So erzeugt *Taphrina Carpini* Hexenbesen auf der Weißbuche, *Taphrina epiphylla* solche auf Alnus incana. *Taphrina deformans* bewirkt die Kräuselkrankheit der Pfirsichblätter. *Taphrina Pruni* dagegen schmarotzt in den jungen Fruchtknoten der Pflaumen, infolgedessen die Pflaumenfrüchte zu hohlen sackartigen Pilzgallen, sogen. Taschen, umgebildet werden.

Die Ascusbildung vollzieht sich ohne vorherige Bildung von Sexualorganen in der Weise, daß das Mycelium zwischen die Epidermis und die Cuticula der Blätter oder der Fruchtknoten eindringt und sich hier reichlich verzweigt. Die einzelnen Mycelzellen schwellen an und bilden meist unter Abgliederung einer basalen Stielzelle je einen die Cuticula nach außen durchbrechenden Ascus mit acht Sporen (Fig. 316). Die zahlreichen Asci stehen dicht nebeneinander. Die Sporen werden aus den infolge Wasseraufnahme stark turgeszierenden und am Scheitel aufplatzenden Schläuchen hinausgespritzt.

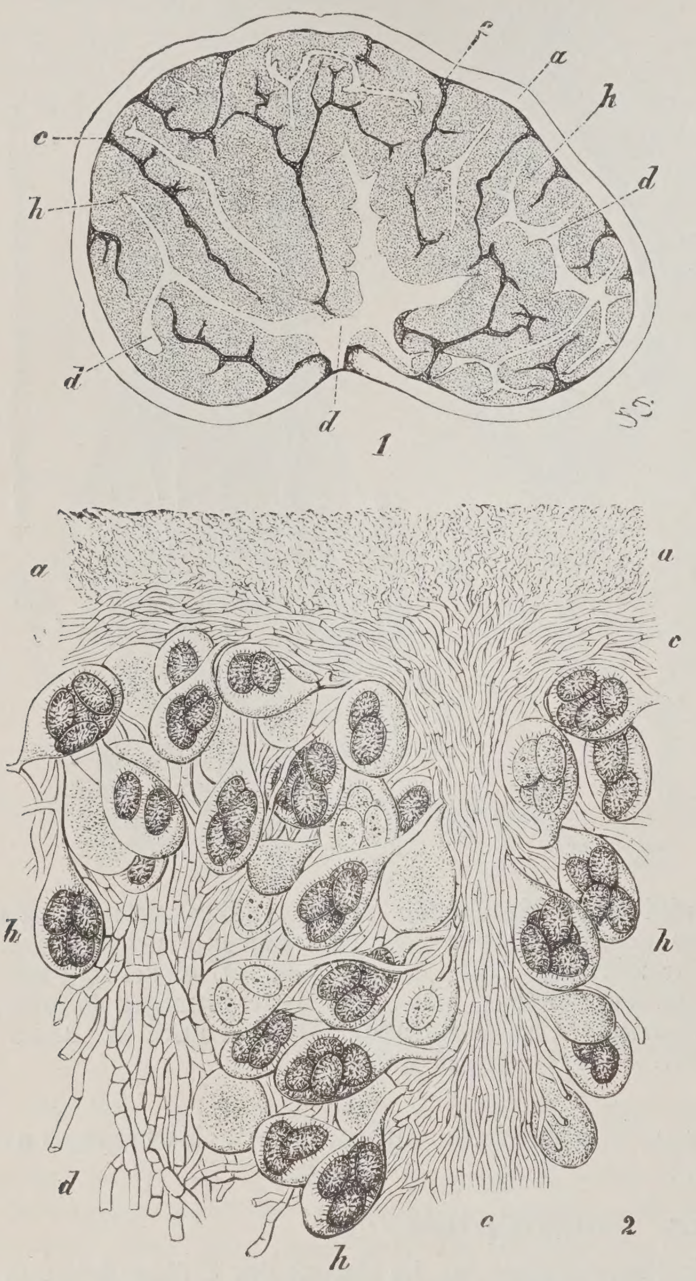


Fig. 315. Tuber rufum. *1* ein Fruchtkörper in Vertikalschnitt. Vergr. 5. *a* die Rinde, *d* lufthaltiges Gewebe, *c* dunkle Adern lückenlosen Gewebes, *h* das ascusbildende Gewebe. *2* ein Stückchen des Hymeniums. Vergr. 460. (Nach TULASNE.) Aus v. TAVEL, Pilze.

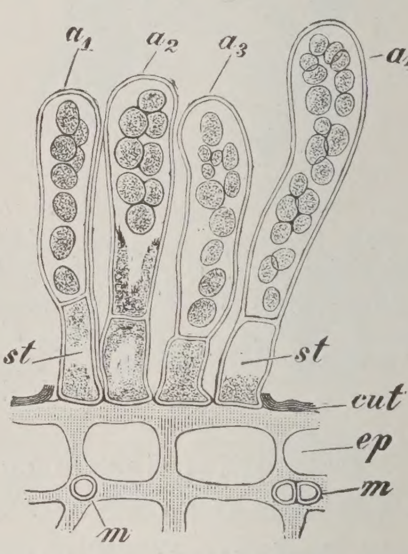


Fig. 316. Taphrina Pruni. Querschnitt durch die Epidermis einer infizierten Pflaume. Vier reife Asci. a_1, a_2 mit acht Sporen, a_3, a_4 mit Conidiensprossung aus den Sporen, *st* Stielzelle des Ascus, *m* Mycel quer durchschnitten, *cut* Cuticula, *ep* Epidermis. Vergr. 600. (Nach SADEBECK.)

Die Sporen sprossen, häufig sogar schon in den noch geschlossenen Asci (Fig. 316 a_3, a_4) direkt zu Conidien aus, eine Form der Conidienvermehrung, die als H e f e s p r o s s u n g bezeichnet wird, so bei *Taphrina Pruni.*

Die Exoasci sind vielleicht als reduzierte Ascomyceten aufzufassen, bei denen die Sexualorgane vollständig rückgebildet wurden.

6. Ordnung. *Saccharomycetes, Hefepilze, Sprosspilze* (47).

Die zur Gattung *Saccharomyces* vereinigten Bier-, Branntwein- und Weinhefen stellen sehr einfache einzellige Pilze vor, welche nur in Form von kugeligen, ovalen oder cylindrischen Conidien, die im Innern einen Kern enthalten und in Conidien weitersprossen (Fig. 2), auftreten. Mycelbildung fehlt, höchstens bleiben die Zellen in Ketten eine Zeitlang vereinigt. Nach Erschöpfung des Substrats, bei freiem Zutritt von Sauerstoff und bei günstiger Temperatur bilden die Hefen Sporangien, die äußerlich den Conidien gleich, im Innern aber einige wenige Sporen erzeugen. Diese Pilze sind in physiologischer Beziehung bemerkenswert; sie bewirken als Gärungserreger vermittels der von ihnen gebildeten Enzyme (Zymase) die Spaltung der Zuckerarten in Alkohol unter Kohlensäureabscheidung. Die Bierhefe, *Saccharomyces cerevisiae*, ist nur in der kultivierten Form bekannt, der Weinhefenpilz *S. ellipsoideus* dagegen kommt in der Natur schon im Boden der Weinberge vor und gelangt von dort auf die Trauben und in den Most.

Die Hefen sind selbständige Pilze, wenigstens ist bis jetzt der Nachweis nicht geführt, daß sie in den Entwicklungsgang anderer Fadenpilze gehören, wenn auch bei verschiedenen Gattungen der Mucorineen, Exoasci, Ustilagineen solche Conidienhefesprossung zu beobachten ist. Vielleicht stellen die Hefepilze reduzierte Ascomyceten vor, vielleicht sind sie aber auch als eine selbständige Gruppe einfacher Pilze anzusehen.

7. Ordnung. *Laboulbeniaceae* (48).

Die durch THAXTER genauer bekannt gewordenen Laboulbeniaceen sind winzige auf Insekten, besonders Käfern parasitisch lebende Pilze mit 2- bis vielzelligem Thallus, welcher mittels eines spitzen Fortsatzes der untersten Zelle in der Chitinhaut befestigt ist oder auch mittels Rhizoiden durch dieselbe in den Körper des Insektes eindringt. Als Beispiel sei der auf Stubenfliegen in Europa verbreitete *Stigmatomyces Baeri* genannt. Die zweizellige mit Schleimhülle versehene Spore (Fig. 317 *A*) setzt sich mit der unteren Spitze fest (*B*); beide Zellen teilen sich sodann (*C*) und aus der oberen Zelle geht ein Anhängsel mit mehreren einzelligen flaschenförmigen Antheridien (*D an*) hervor, aus welchen die nackten cilienlosen kugeligen Spermatien entleert werden, während die untere Zelle zunächst in vier Zellen (*D a, b, c, d*) sich teilt, von denen *a* sich verwölbt und einen vielzelligen weiblichen Apparat liefert. Die eigentliche Eizelle (*E ac*), Carpogon genannt, ist von einer Hülle umgeben und über ihr stehen zwei Zellen (*E tp, t*), von denen die oberste als Trichogyn frei hervorragt und als Empfängnisorgan für die Spermatien fungiert. Das Verhalten der Kerne ist noch nicht beobachtet. Vermutlich findet Verschmelzung von männlichem und weiblichem Kern im Carpogon statt. Dasselbe teilt sich zunächst in drei Zellen, von denen die obere verschwindet, die untere (*F st*) steril bleibt, die mittlere aber zu den Sporenschläuchen auswächst, welche je vier zweizellige spindelförmige Sporen erzeugen (*G*). Von großem Interesse ist die Ähnlichkeit der Sexualorgane mit denen der Florideen und der flechtenbildenden Ascomyceten.

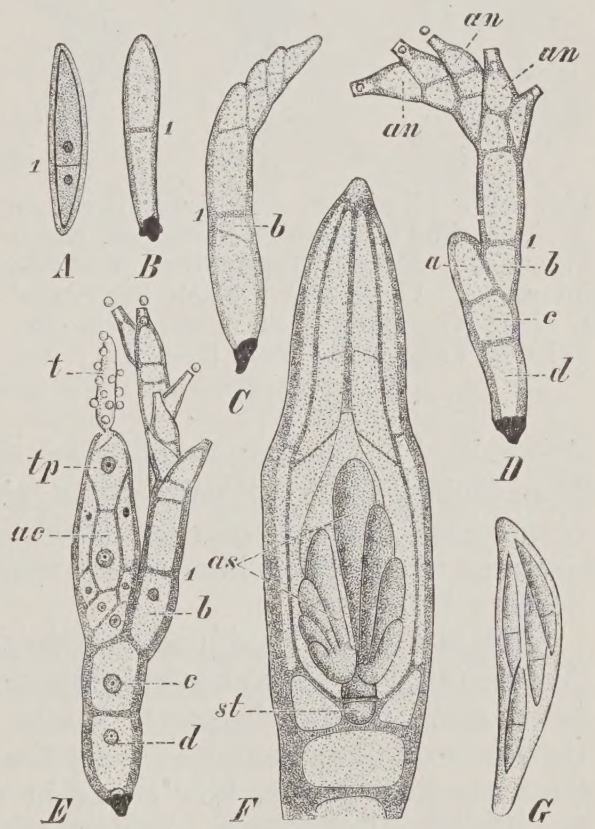


Fig. 317. Stigmatomyces Baeri. Erklärung im Text. *A* Spore, *B—F* aufeinanderfolgende Stadien. *D* mit Antheridien *an*, aus denen Spermatien austreten. *E* oben mit Antheridien, seitlich mit ausgebildetem weiblichen Apparat. *F* Perithecium mit sich entwickelnden Sporenschläuchen. *G* Reifer Sporenschlauch. (Nach THAXTER.)

3. Unterklasse. Basidiomycetes (34, 44, 49, 50).

Die große Gruppe der Basidiomyceten im weiteren Sinne, deren Mycel wie bei den Ascomyceten gegliedert ist, zeichnet sich aus durch vollständigen Verlust der sexuellen Fortpflanzung. Die typischen hierher gehörigen Pilze sind charakterisiert durch die Bildung der **Basidien**, das sind Conidienträger von bestimmter Form, Größe und Sporenzahl. Diese Zahl beträgt 4 (vereinzelt auch 2, 6 oder 8). Die Basidien begegnen uns in verschiedenen Formen.

Bei den Ordnungen der *Uredineen* und *Auricularieen* ist der obere Teil der Basidie durch Querwände in vier Zellen geteilt und jede Zelle erzeugt an ihrem oberen Ende je eine auf einem dünnen Stielchen (Sterigma) sitzende Spore (Fig. 318 *A*). Bei den *Tremellineen* dagegen teilt sich die Basidie durch zwei Längswände in vier mit langen schlauchförmigen Sterigmen versehene Zellen (Fig. 318 *B*). Bei den *Hymenomyceten* und *Gasteromyceten* ist der Basidienträger einzellig, ungeteilt, und bildet an seinem Gipfel auf Sterigmen oder sitzend in der Regel vier Sporen (Fig. 318 *C*, 324). Die Anlage der Basidien enthält zwei Kerne, welche miteinander verschmelzen und dann erst durch weitere Teilung die Sporenkerne liefern.

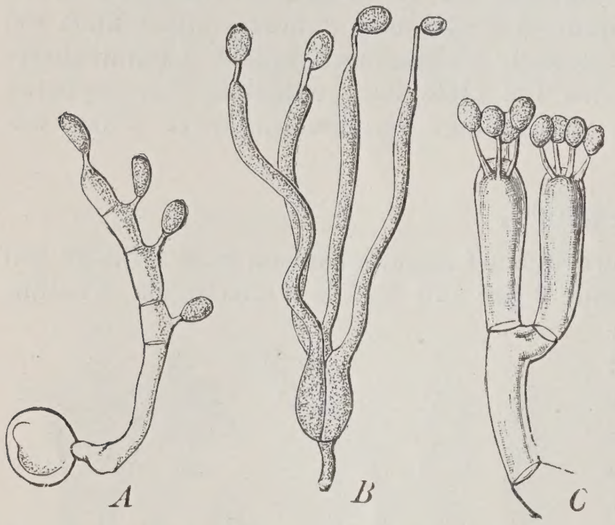


Fig. 318. Basidien. *A* einer Uredinee (Endophyllum Euphorbiae silvaticae). (Nach Tulasne.) *B* einer Tremellinee (Tremella lutescens). Vergr. 450. (Nach Brefeld.) *C* eines Hymenomyceten (Tomentella granulata). Vergr. 350. (Nach Brefeld.) Aus v. Tavel, Pilze.

Die geteilten Basidien nennt Brefeld Protobasidien, die ungeteilten Autobasidien.

Von Interesse ist das Verhalten der *Ustilagineen* oder Brandpilze, indem bei der einen Familie derselben quergeteilte nicht immer gerade vierzellige Basidien, bei der anderen dagegen ungeteilte Basidien auftreten. Die Zahl der gebildeten Sporen ist hier nicht eine scharf begrenzte; sondern oft eine sehr große. Daher nennt Brefeld diese Conidienträger Hemibasidien und faßt diese Ordnung unter dem Namen *Hemibasidii* als Vorläufer der typischen Basidiomyceten auf, unter denen die Gruppen mit Protobasidien die Vorstufen zu denen mit Autobasidien repräsentieren sollen.

Außer den als Basidien ausgebildeten Conidienträgern treten noch andere Conidienformen als Nebenfruktifikationen in dem Entwicklungsgang mancher Arten auf. Chlamydosporen spielen bei den beiden ersten Ordnungen der *Ustilagineen* oder Brandpilze als Brandsporen, und der *Uredineen* oder Rostpilze als Rostsporen, hier sogar in dreifacher Ausbildungsweise, eine wichtige Rolle. Bei diesen beiden Gruppen gehen die Basidien direkt aus keimenden Chlamydosporen (Fig. 318 *A*, 319 *B*) hervor, während sie bei den übrigen Basidiomyceten, abgesehen von einigen einfacheren Formen, stets an mehr oder weniger kompliziert gebauten Fruchtkörpern, bei den *Gasteromyceten* oder Bauchpilzen im Innern von solchen, gebildet werden.

1. Ordnung. Ustilagineae, Brandpilze (34, 51).

Die Brandpilze leben mit ihrem Mycel parasitisch in höheren Pflanzen meist in bestimmten Organen, entweder in den Blättern und Stengeln oder in den Früchten oder

in den Staubgefäßen. Besonders dienen die Gramineen als Nährpflanzen. Gewisse Arten sind dem Getreide in hohem Maße schädlich, sie erzeugen in den Fruchtständen von Hafer, Gerste, Weizen, Hirse, Mais die als Getreidebrand bekannten Krankheiten.

Das Mycelium der Brandpilze bildet auf der Nährpflanze als Abschluß seines vegetativen Lebens die sogen. Brandsporen, indem die reich verzweigten Hyphen sich durch Querwände in kurze anschwellende Zellen teilen (Fig. 319 *A*). Die Zellen runden sich ab, lassen ihre Membran aufquellen und umgeben sich als Sporen innerhalb der später verschwindenden Gallerthüllen mit einer neuen dicken doppelten Membran. So zerfällt das Mycel in Sporen, die eine dunkelbraune oder schwarze staubige Masse vorstellen. Ihrer Bildung nach sind die Brandsporen als Chlamydosporen aufzufassen. Sie sind Dauersporen, werden von den Wirtspflanzen aus durch den Wind zerstreut und keimen nach der Winterruhe zu den basidienähnlichen Conidienträgern aus, deren Bildung bei den beiden Familien der Brandpilze, den *Ustilaginaceen* und den *Tilletiaceen* nach verschiedenen Typen erfolgt.

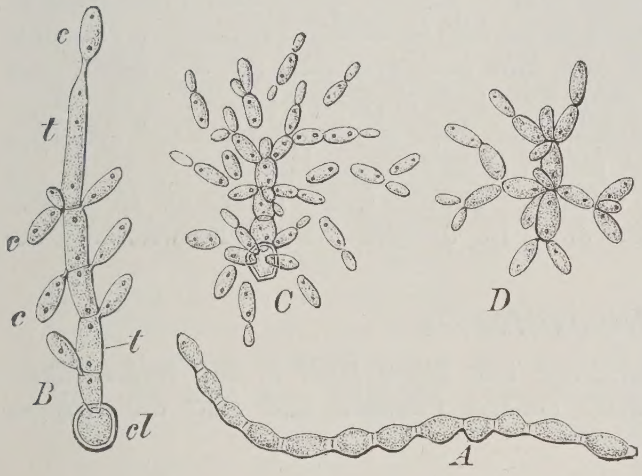


Fig. 319. *A* Ustilago olivacea. In der Bildung von Brandsporen befindlicher Mycelfaden. Vergr. 400. *B*—*D* Ustilago segetum. *B* in Nährlösung keimende Brandspore *cl* mit dem quergeteilten Conidienträger *t*, den Conidien *c*. Vergr. 450. *C* in Nährlösung liegender, von abgefallenen sprossenden Conidien umgebener Keimling. Vergr. 200. *D* Sproßverband von Conidien. Vergr. 350. (Nach Brefeld.) Aus v. Tavel, Pilze.

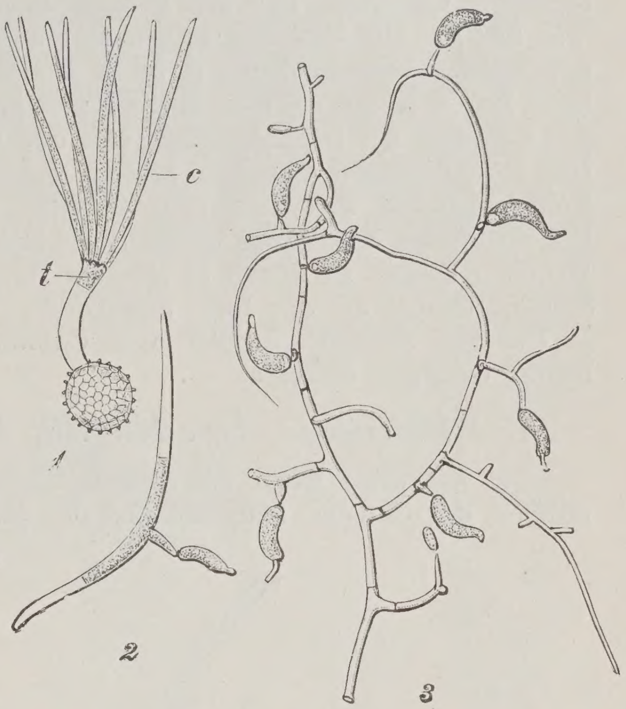


Fig. 320. Tilletia Tritici. *1* keimende Brandspore mit ungeteiltem Conidienträger *t* und den scheitelständigen Conidien *c*. Vergr. 300. *2* keimende fadenförmige Conidie mit einer sichelförmigen Conidie. Vergr. 400. *3* Mycelabschnitt mit sichelförmigen Conidien. Vergr. 350. (Nach Brefeld.) Aus v. Tavel, Pilze.

Als wichtigster Vertreter der *Ustilaginaceen* ist die Gattung *Ustilago* zu erwähnen. *Ust. segetum* (= *U. Carbo*) verursacht den Staubbrand an Hafer, Gerste, Weizen. Das Mycel durchsetzt die Fruchtknoten und erzeugt hier massenhaft die Brandsporen als schwarzbraunes ausstaubendes Pulver. *Ust. Maydis* bildet an den Halmen, Blättern und Inflorescenzen des Mais große sackartige, mit dem schwarzen Brandsporenpulver erfüllte, geschwürartige Beulen und Blasen. Andere Arten leben auf den Blättern von Gräsern, *Ust. violacea* (= *U. antherarum*), dagegen in den Staubbeuteln verschiedener Caryophyllaceen (Lychnis, Saponaria) und erfüllt dieselben an Stelle des Pollen mit Brandsporen.

Die Brandsporen von Ustilago keimen nach der Ruhezeit auf dem Boden zu einem kurzen Schlauch, der sich durch 3 bis 4 Querwände teilt (Fig. 319 *B*) und den basidienähnlichen Conidienträger vorstellt; er bringt seitlich am oberen Ende der einzelnen Zellen sowie an seiner Spitze die eiförmigen Conidien hervor. Wenn reichlich Nährstoffe dem Pilz zur Verfügung stehen, also bei Kultur in Nährlösungen, so werden beständig Conidien in großer Zahl abgegliedert (*C*) und die Conidien vermehren sich dann durch

Sprossung in Hefeform (*C*, *D*). Sind die Nährstoffe im Substrat erschöpft, so wachsen die Conidien zu Mycelfäden aus. Auf den Getreideäckern findet die Conidienbildung in dem feuchten gedüngten Boden statt, also bei saprophytischer Ernährungsweise, und die schließlich aus den Conidien hervorgehenden Fäden gehen zur parasitischen Lebensweise über, dringen in die ganz jungen Getreidekeimlinge ein bis zur Vegetationsspitze, wo später die Inflorescenzen angelegt werden. In Letzteren entwickelt sich das Mycel weiter und schließt mit der Erzeugung der Brandsporen ab. Auf der Nährpflanze selbst werden keine Conidien gebildet.

Die *Tilletiaceen* führen ganz ähnliche Lebensweise wie die Ustilagineen. Am bekanntsten sind *Tilletia Tritici* (auch *T. Caries* genannt) und *Till. laevis*, die Pilze des Stein- oder Stinkbrandes des Weizens. Die Brandsporen erfüllen das Innere der Weizenkörner mit schwärzlichen, nach Heringslake riechenden Brandsporen, welche bei ersterer Art mit netzförmigen Verdickungsleisten versehen, bei letzteren dagegen glattwandig sind. Im Gegensatz zu den Ustilagineen erzeugt der Keimschlauch die fadenförmigen Conidien nur an seinem Scheitel, in wirteliger Anordnung zu 4 bis 12 (Fig. 320 *1*). Die Conidien zeigen hier die Eigentümlichkeit, daß sie paarweise **H**-förmig miteinander verschmelzen, d. h. in der Mitte durch eine Brücke in offene Verbindung ihrer Zellen treten. Solche Zellfusionen kommen auch paarweise zwischen den sprossenden Conidien der Ustilaginaceen vor, und sind nicht mit Kernverschmelzung verbunden. Die fadenförmigen Conidien keimen leicht aus und erzeugen nun an der Spitze des Keimschlauches wiederum eine Conidie, aber von sichelförmiger Gestalt (Fig. 320 *2*). Bei reichlicher Ernährung wachsen die Keimschläuche aber zu saprophytischen größeren Mycelien heran, an denen in reichem Maße solche sichelförmige Conidien in Form von Schimmelrasen an der Luft abgegliedert werden. Tilletia weist somit im Gegensatz zu Ustilago zweierlei Formen von Conidien auf. Im übrigen ist die Entwicklung bei beiden Gruppen dieselbe.

2. Ordnung. *Uredineae*, Rostpilze[52].

Die Rostpilze leben als schädliche Parasiten mit ihrem Myel in den Intercellularräumen der Gewebe hauptsächlich der Blätter höherer Pflanzen und sind die Erreger

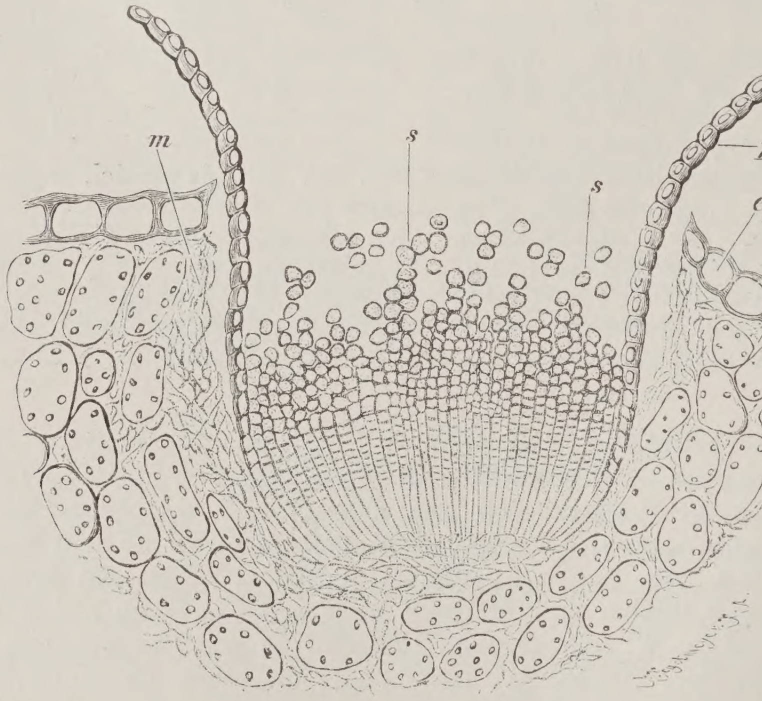


Fig. 321. Puccinia graminis. Aecidium auf Berberis vulgaris. *ep* Epidermis der Blattunterseite, *m* intercellulares Mycel, *p* Peridie, *s* Sporenketten. Vergr. 142.

der Rostkrankheiten. Am nächsten schließen sie sich an die Brandpilze an und erzeugen wie diese Chlamydosporen, die in Form von kleinen Pusteln oder Sporenhäufchen aus dem Gewebe der Nährpflanzen, als sogen. Rost, hervorbrechen. Die

Chlamydosporenbildung erfährt innerhalb der Familie eine weitgehende Komplikation. Bei der Mehrzahl der Uredineen treten nämlich diese Sporen in dreierlei Form neben- oder nacheinander auf.

1. als Teleutosporen, Wintersporen, oder typische Chlamydosporen; sie sind wohl sämtlichen Arten ursprünglich eigentümlich, sind mit dicker Membran umkleidet und repräsentieren in der Regel Dauersporen, welche den Winter überdauern. Sie entstehen in kleinen, die Epidermis durchbrechenden, meist rundlichen Lagern an den Enden zahlreicher, dicht nebeneinander stehender Mycelenden, häufig zu zwei oder mehreren verbunden (Fig. 322 *1*, *5 t*) und werden im Spätsommer gegen Ausgang der Vegetationsperiode gebildet. Bei der Keimung geht aus ihnen direkt die 4 zellige, 4 Sporen bildende Basidie hervor (Fig. 318 *A*; 322 *2*).

2. als Uredosporen, Sommersporen; sie entstehen in denselben oder in ähnlichen Lagern wie die Teleutosporen, gehen aber deren Bildung voraus, keimen nach ihrer Ablösung direkt vegetativ auf der Nährpflanze aus und vermitteln die Ausbreitung des Pilzes im Sommer. Sie sind einzellig und mit dünner Membran umgeben (Fig. 322 *5* u *6*).

3. als Aecidiosporen, welche den Uredo- und den Teleutosporen vorangehen, nach ihrer Ablösung vegetativ auskeimen und in besonderen Fruchtkörpern oder Aecidien entstehen. Die Aecidien (Fig. 321) sind kleine anfangs geschlossene, später sich öffnende becherförmige Gebilde, brechen aus der Epidermis der Nährpflanze hervor und tragen in ihrem Grunde ein Hymenium aus dichtstehenden Mycelästen, an denen in langen Ketten die rundlich polyedrischen Sporen abgegliedert werden. Die Hülle des Aecidiums, Peridie genannt, besteht aus den peripherischen, steril bleibenden Zellfäden.

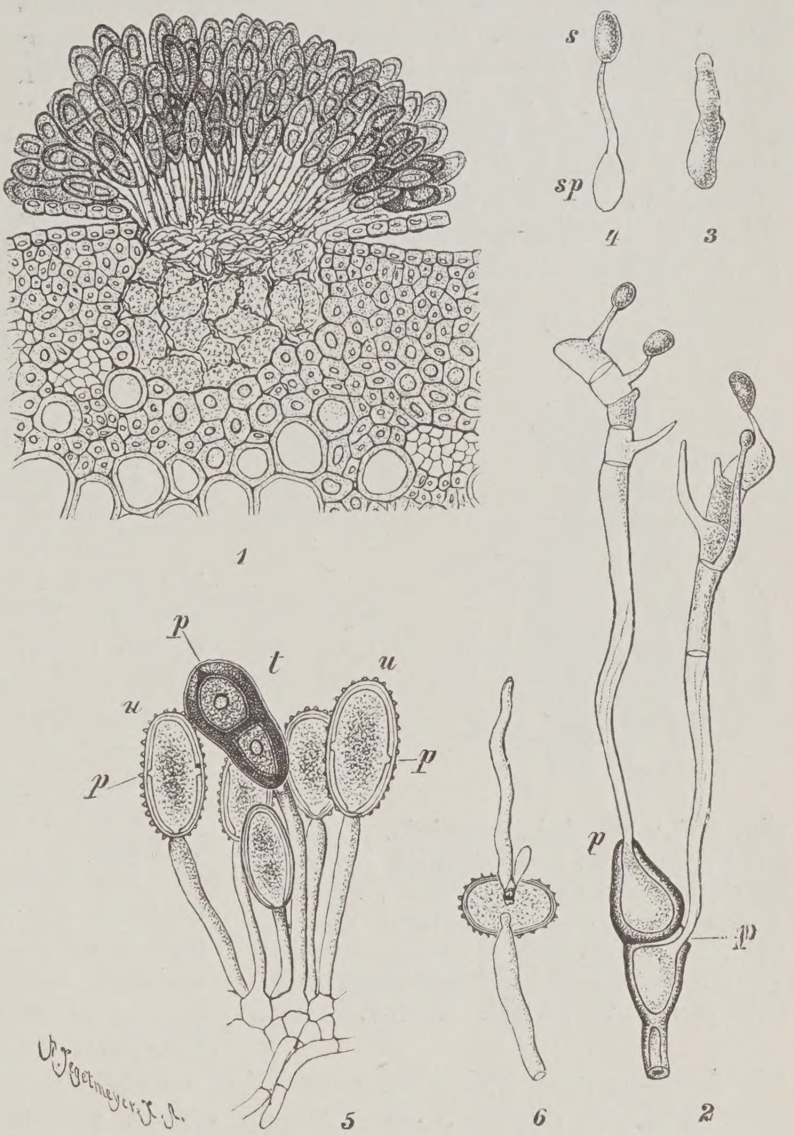


Fig. 322. Puccinia graminis. *1* Querschnitt durch ein Stück eines Getreidehalms mit einem Teleutosporenlager. *2* keimende Teleutospore mit zwei Basidien. *3* vegetativ, *4* fruktifikativ keimende Basidienspore. Letztere mit Sekundärspore, welche gebildet wird, wenn zur Infektion einer Pflanze keine Gelegenheit geboten ist. *5* eine Gruppe von Uredosporen *u*, untermischt mit einer Teleutospore *t*; *p* die Keimporen. *6* keimende Uredospore. (*1* Vergr. 150; *2* Vergr. ca. 230, *3*, *4* Vergr. 370; *5* Vergr. 300, *6* Vergr. 390, *2*, *3*, *4* nach TULASNE, *5*, *6* nach DE BARY.) Aus V. TAVEL, Pilze.

Uredo- und Aecidiosporen weichen in ihrer nur vegetativen Keimung von den Teleutosporen ab, sind aber ihrer ganzen Bildung nach ebenfalls als Chlamydosporen aufzufassen, welche eine bestimmte biologische Rolle für die Ausbreitung des Pilzes übernommen haben und aus Teleutosporen hervorgegangen sein dürften, zumal Übergangsformen zwischen Teleuto- und Uredosporen gelegentlich vorkommen.

In den Entwicklungsgang dieser mit trimorphen Chlamydosporen versehenen Uredi-

neen schiebt sich ferner noch eine andere ungeschlechtliche Sporenfruktifikation und zwar von Conidien ein, welche stets in Fruchtkörpern entstehen, nämlich in Pykniden von gleicher Form und Beschaffenheit, wie sie sich auch bei manchen höheren Ascomyceten vorfinden, sonst aber den Basidiomyceten fehlen. Diese Pykniden (früher Spermogonien genannt) erzeugen im Innern auf fadenförmigen Conidienträgern winzige Conidien, sogen. Pyknosporen oder Pyknoconidien (früher Spermatien genannt, weil man sie für männliche Sexualzellen hielt), die aus der Mündung des krugförmigen Organs ausgestoßen werden (Fig. 323). Die weitere Entwicklung dieser Sporen auf der Nährpflanze ist noch unbekannt, sie können aber in Nährlösungen zur Keimung gebracht werden. Die Pykniden erscheinen im Frühjahr in Gemeinschaft mit Aecidien, aber etwas früher an der Oberseite der Blätter, während die Aecidien auf der Unterseite entstehen.

Die Uredineen weisen somit, da sie außer den drei Chlamydosporenformen zweierlei Conidien, nämlich die in Pykniden und die an Basidien gebildeten, besitzen, eine große Mannigfaltigkeit der ungeschlechtlichen Sporenbildung auf. Die verschiedenen Sporen folgen im allgemeinen in der Vegetationszeit aufeinander, Aecidien und Pykniden im Frühjahr, im Sommer die Uredosporen, im Herbst die Teleutosporen, die dann im nächsten Frühjahr zu Basidien austreiben. Die Basidiosporen keimen alsbald, und das aus ihnen hervorgehende Mycel dringt in die Nährpflanze ein und erzeugt dann zunächst Aecidien und Pykniden u. s. f. Aecidio- und Uredosporen besorgen die Ausbreitung des Pilzes während der Vegetationsperiode.

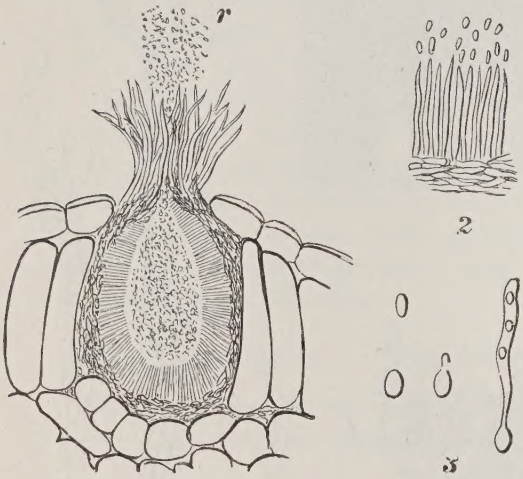


Fig. 323. Puccinia graminis. Pyknide auf Berberis im Längsschnitt, bei *r* die ausgestoßenen Pyknosporen. Vergr. 150. *2* ein Stück des Hymeniums aus der Pyknide. Vergr. 225. *3* keimende Pyknosporen, im längeren Keimschlauch einige Öltröpfchen. Vergr. 360. (Nach v. Tavel.)

Entweder treten diese verschiedenen Sporenformen im Laufe des Jahres an ein und derselben Nährpflanze auf und man bezeichnet solche Uredineen als autöcisch, oder Pykniden und Aecidien finden sich auf der einen Nährspecies, Uredo- und Teleutosporen dagegen auf einer anderen, der ersteren im System oft sehr ferne stehenden Pflanze. Bei diesen letzteren heteröcischen Arten liegt also ein Wirtswechsel des Parasiten vor.

Als Beispiel für letzteres Verhalten und zugleich für den Entwicklungsgang der Uredineen sei *Puccinia graminis*, der Getreiderost, erwähnt, welcher seine Uredo- und Teleutosporen an Blättern und Halmen von Gräsern, besonders Roggen, Weizen, Gerste, erzeugt. Die Aecidien und Pykniden dieser Art entwickeln sich auf den Blättern der Berberitze (Berberis vulgaris). Im Frühjahr treiben zunächst die überwinterten, zu zweien vereinigten Teleutosporen ihre quergeteilten Basidien, von denen successive die vier Basidiosporen sich ablösen (Fig. 322 *2*), um auf die Berberitzenblätter durch den Wind verbreitet zu werden. Nur hier können sie keimen, der Keimschlauch dringt durch die Cuticula ein und entwickelt sich zum Mycel, aus dem bald an der Blattoberseite die Pykniden (Fig. 323), auf der Unterseite die Aecidien (Fig. 321) hervorgehen. Die letzteren werden als Becherrost (Aecidium Berberidis) bezeichnet. Die rotgelben Aecidiosporen stäuben aus der geöffneten Peridie aus und gelangen auf die Halme und Blätter von Gräsern, auf denen allein sie zu keimen vermögen. Das aus ihnen hervorgehende Mycel bringt im Sommer zunächst die Uredosporen (Fig. 322 *5*) hervor. Die Uredosporen sind einzellig, mit vier äquatorialen Keimporen in der außen mit kleinen Warzen bedeckten Wandung versehen und enthalten rotgelbe Fetttröpfchen in ihrem Plasma, erscheinen daher als rote strichförmige Häufchen auf der Epidermis (früher Uredo linearis genannt). Die Uredosporen sind sofort auf Getreide wieder keimfähig und verbreiten rasch in verderbenbringender Weise die Rostkrankheit. Im Ausgang des Sommers werden in denselben Lagern (Fig. 322 *5, 1*) die schwarzen, stets zu zwei vereinigten, dickwandigen Teleutosporen, mit je einem Keimporus, erzeugt, von denen im nächsten Jahr die Entwicklung von neuem anhebt.

Auch kann in dem durch Uredo infizierten Wintergetreide das Mycel überwintern

und dann den Getreiderost mit Übergehung von Basidiosporen und Berberis-Aecidium im nächsten Sommer hervorrufen.

Mit Puccinia graminis nahe verwandt sind noch einige andere häufige Gras- oder Getreideroste von ähnlichem Entwicklungsgang, so *P. Rubigovera* (= *P. straminis*) mit dem Aecidium Asperifoliorum auf Boraginaceen und *P. coronata* mit dem Aecidium Rhamni auf Rhamnus.

Nicht alle Uredineen weisen einen derartig komplizierten Entwicklungsgang wie Puccinia graminis auf. Gewisse Arten erzeugen nur die zu Basidien keimenden Teleutosporen, andere außer den Teleutosporen nur Uredosporen auf derselben Nährpflanze, oder andere erst Pykniden und Aecidien und dann Teleutosporen, aber keine Uredosporen.

Bei den heteröcischen Arten gelingt es nur durch entsprechende Aussaatversuche, die Zusammengehörigkeit der verschiedenen Sporenbildungen nachzuweisen. So lange dieser Zusammenhang für die einzelnen Formen noch nicht bekannt war, bezeichnete man die drei Sporenformen mit besonderen Gattungsnamen, die Uredosporenhäufchen als *Uredo*, die Aecidien je nach ihrer Beschaffenheit als *Aecidium*, *Roestelia*, *Peridermium* usw. Die Gattungsbezeichnung geschieht jetzt nach der Beschaffenheit der Teleutosporen, weil diese Sporen die am meisten charakteristischen Unterschiede aufweisen.

3. Ordnung. Auricularieae.

Basidien wie bei den Uredineen quergeteilt, mit vier Sporen. Hierher nur wenige Formen, unter denen am bekanntesten der Holunderschwamm oder das Judasohr, *Auricularia sambucina*, mit gallertartigen, dunkelbraunen, muschelförmigen Fruchtkörpern, die auf ihrer Innenseite das Basidienhymenium tragen und aus alten Holunderstämmen hervorbrechen.

4. Ordnung. Tremellineae, Zitterpilze.

Basidien der Länge nach geteilt (Fig. 318 *B*). Die Fruchtkörper der Zitterpilze sind von gallertartiger Beschaffenheit, lappig oder runzlig gefaltet und auf ihrer Oberseite mit dem Basidienhymenium überkleidet. Nur wenige Gattungen, saprophytisch in faulenden Baumstämmen, aus deren Oberfläche die Fruchtkörper hervorkommen.

5. Ordnung. Hymenomycetes.

Die Basidien sind ungeteilt und tragen an der Spitze auf schmalen Sterigmen vier Sporen (Fig. 324 *sp*). Bei den einfachsten Formen entspringen diese Autobasidien direkt dem Mycel, bei der überwiegenden Mehrzahl aber kommt es zur Bildung von Fruchtkörpern, auf denen an bestimmten Stellen die Basidien in Schichten oder Hymenien auftreten. An der Zusammensetzung der letzteren beteiligen sich die Saftfäden oder Paraphysen (Fig. 324 *p*) und die ebenfalls sterilen Cystiden (*c*) oder Schläuche, welche sich durch größeren Umfang auszeichnen und meist stark verdickte Membran aufweisen. Chlamydosporenbildung tritt innerhalb der Ordnung nur vereinzelt auf, hat also im Gegensatz zu den Uredineen ganz untergeordnete Bedeutung.

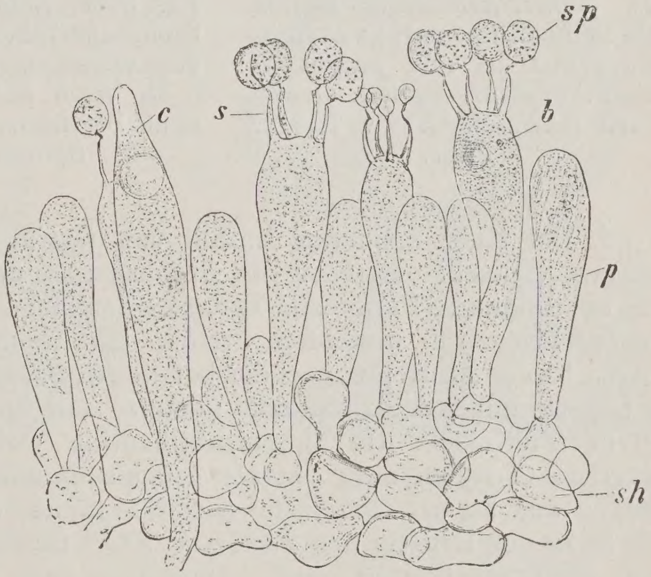


Fig. 324. Russula rubra. Partie aus dem Hymenium; *sh* subhymeniale Schicht, *b* Basidien, *s* Sterigmen, *sp* Sporen, *p* Paraphysen, *c* eine Cystide. Vergr. 540.

Die meisten Hymenomyceten leben mit ihrem reich verzweigten weißen Mycelium im humushaltigen Boden der Wälder oder in faulendem Holz, in absterbenden Baumstämmen und erheben ihre, oft bedeutende Größe erreichenden massigen Fruchtkörper, die gemeiniglich als S c h w ä m m e bezeichnet werden, über die Oberfläche des Substrats. Das Mycel der im Boden vegetierenden Formen breitet sich an der Peripherie immer weiter

aus und nimmt, indem es von der Mitte aus nach Erschöpfung der Nährstoffe im Substrat abstirbt, eine von Jahr zu Jahr immer größer werdende ringförmige Zone ein. Infolgedessen erscheinen dann auch die jährlich im Herbst hervorkommenden Schwämme bei ungestörter Entwicklung in Ringen angeordnet, welche vom Volk Hexenringe genannt werden. Die Minderzahl der Hymenomyceten vegetiert parasitisch in der Rinde oder dem Holze von Holzgewächsen, so z. B. unter den Hutschwämmen der Hallimasch, *Armillaria mellea* (Fig. 325), dessen Mycel zwischen Rinde und Holz von Laub- oder Nadelhölzern wächst und daselbst flache, verästelte, außen schwarze Stränge, sogen. Rhizomorphen bildet, aus denen später die Fruchtkörper als gestielte Hüte hervorkommen. Außer diesen subcorticalen Rhizomorphen werden vom Mycel auch noch unterirdische lange Rhizomorphen gebildet, welche von einer Wurzel ausgehend andere Wurzeln mit dem Pilz infizieren können. Die Rhizomorphen können als eine Sclerotiumbildung aufgefaßt werden.

Die fortschreitende Komplikation im Aufbau der mannigfachen Basidienfruchtkörper dient zur weiteren Einteilung der Hymenomyceten.

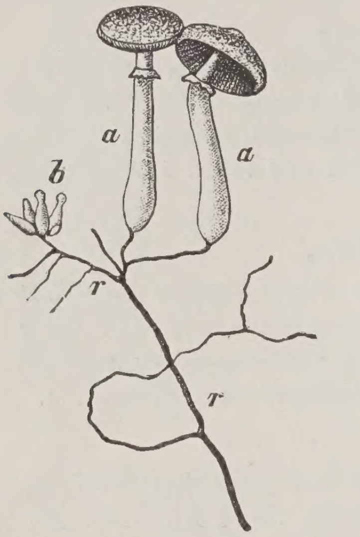


Fig. 325. Armillaria mellea. Stück eines Rhizomorphastranges mit reifen (*a*) und jungen (*b*) Fruchtkörpern. $^1/_8$ nat. Größe. (Nach HARTIG.) Aus v. TAVEL, Pilze.

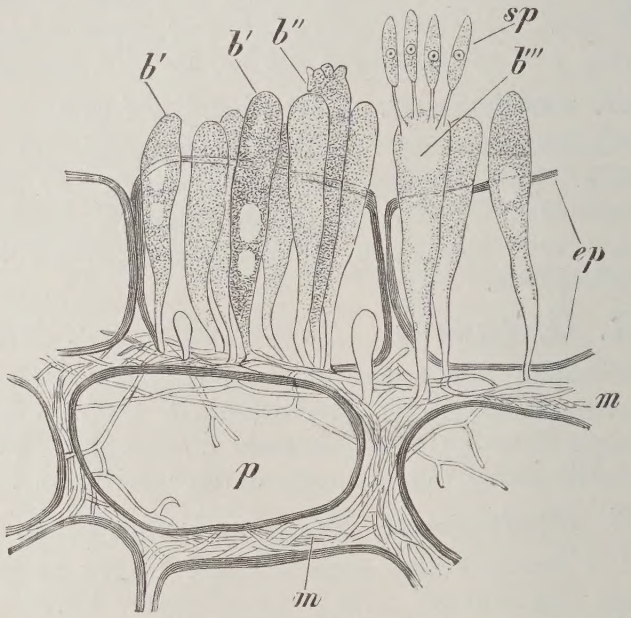


Fig. 326. Exobasidium Vaccinii. Querschnitt durch die Stengelperipherie von Vaccinium, *ep* Epidermis, *p* Rindenparenchym, *m* Mycelfäden in den Intercellularräumen, *b* die nach außen hervorbrechenden Basidien, *b'* noch ohne Sterigmen, *b''* Anlage der Sterigmen, *b'''* mit vier Sporen. Vergr. 620. (Nach WORONIN.)

1. Bei einer kleineren Anzahl von Gattungen kommt es nicht zur Fruchtkörperbildung, vielmehr entstehen die Autobasidien noch frei aus den Mycelfäden in Lagern von unbestimmter Form. Als Vertreter derselben sei *Exobasidium Vaccinii* genannt, ein auf Ericaceen, besonders Preißel- und Heidelbeeren auftretender parasitischer Pilz, dessen Mycel Auftreibungen der befallenen Pflanzenteile verursacht. Die Basidien werden in Lagern unter der Epidermis gebildet und brechen durch dieselbe an die Oberfläche hervor (Fig. 326). Als Nebenfruktifikation treten bei dieser Gattung, wie bei vielen anderen, Conidien auf, die als schmalspindelförmige Zellen vom Mycel abgegliedert werden und an der Oberfläche der Nährpflanze der Basidienbildung vorausgehen.

2. In der Gruppe der *Thelephoreen* treten bereits echte Fruchtkörper, aber noch von einfacher Gestalt, auf. Dieselben sind von korkig lederartiger Beschaffenheit und bilden auf Baumstümpfen teils flache Krusten von rundlichem oder gelapptem Umriß, und das Basidienhymenium überzieht die glatte Oberseite dieser Krusten; oder die flachen Fruchtkörper heben sich in horizontaler Richtung vom Substrat ab, bilden halbkreisförmige Hüte, die oft dachziegelartig gruppenweise übereinander gelagert sind, und das Hymenium ist auf ihrer Unterseite entwickelt, so bei dem an Laubholzstämmen häufigen *Stereum hirsutum*.

3. In der Gruppe der *Clavarieen* haben die Fruchtkörper die Form von weißlichen

oder gelben, aus dem Boden sich erhebenden fleischigen kleinen Keulen, oder sind mehr oder weniger reich korallenartig verzweigt. Die größeren, fleischigen, reich verästelten Formen dieser Gruppe liefern Speiseschwämme, so *Clavaria flava* mit bis 10 cm hohem, fleischigem, orangegelbem, Fruchtkörper und *Clavaria Botrytis* (Fig. 327), von blaßrötlicher Farbe, beide als Bärentatze, Händling, Hahnenkamm oder Korallenschwamm bezeichnet,

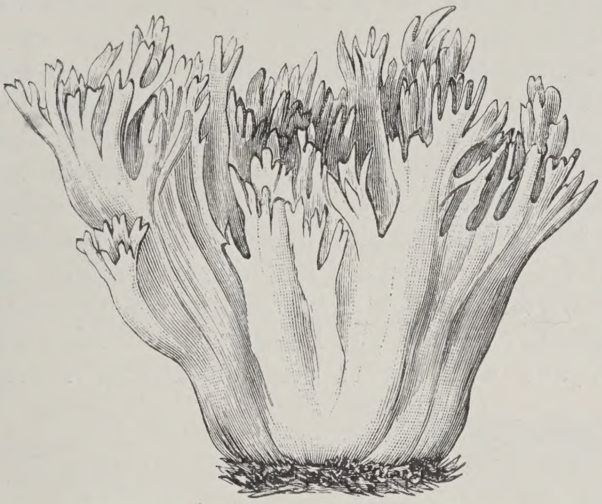


Fig. 327. Clavaria Botrytis. Nat. Gr.

Fig. 328. Hydnum repandum. Verkleinert

ferner der krause Ziegenbart, *Sparassis crispa*, auf Sandboden in Nadelwäldern auftretend, mit blattförmig zusammengedrückten, reich verzweigten Ästen, bis $^1/_2$ m im Durchmesser erreichend.

4. Die *Hydneen* oder Stachelschwämme besitzen Fruchtkörper mit stachelartigen Auswüchsen, auf denen die Hymenien als Überzug entwickelt werden. Die einfachsten Hydneen haben krustenförmige Fruchtkörper, auf deren Oberseite diese Stacheln stehen, andere dagegen entwickeln wohlausgebildete, gestielt hutförmige, fleischige Fruchtkörper, die auf der Hutunterseite die herabhängenden Stacheln tragen. Zu letzteren gehören verschiedene eßbare Schwämme, so *Hydnum imbricatum*, der Habichtsschwamm, in Kiefernwäldern, mit braunem, oben schwärzlich beschupptem, bis 15 cm breitem Hut, ferner *Hydnum repandum*, der Stoppelschwamm (Fig. 328) mit fleischfarbig gelblichem Hut.

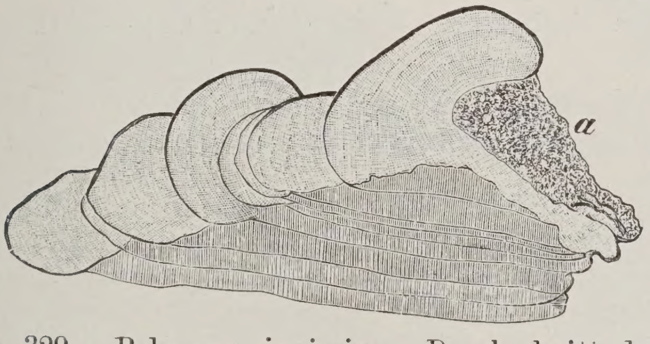


Fig. 329. Polyporus igniarius. Durchschnitt durch einen mehrjährigen Fruchtkörper mit Zuwachszonen. *a* Befestigungsstelle des halbkreisförmigen Hutes. $^1/_2$ nat. Gr.

Fig. 330. Psalliota campestris (= Agaricus campestris). Champignon, rechts junger Fruchtkörper. Verkleinert.

5. Bei den artenreichen *Polyporeen* oder Löcherschwämmen besitzen die großen gestielten oder sitzenden Hüte auf ihrer Unterseite offene röhrenförmige Vertiefungen oder tief gewundene Gänge, oder dicht zusammenstehende, herabhängende Röhrchen und das Basidienhymenium ist in diesen offenen Poren auf der Innenseite entwickelt. Hierher gehört die Gattung *Boletus* mit großen, fleischigen, auf Waldboden auftretenden dickstieligen Hüten, deren Unterseite mit einer dicken Schicht von feinen Röhrchen bekleidet ist. Die Arten sind teils vorzügliche Speisepilze, so *B. edulis*, der Steinpilz, teils aber sehr

giftig, wie der Satanspilz, *Boletus Satanas* (Fig. 331), mit gelbbraunem, bis 20 cm breitem Hut, gelb bis purpurrot gefärbtem, oder mit roter Netzzeichnung versehenem Stiel und erst blutroter, dann orangeroter Hutunterseite. Von den zahlreichen Arten der Gattung *Polyporus* ist der Feuer- oder Zunderschwamm, *P. fomentarius*, officinell. Sein Mycelium lebt parasitisch in Laubbäumen, besonders Buchen, und erzeugt große konsolförmige, bis 30 cm breite und 15 cm dicke mehrjährige Fruchtkörper mit harter grauer Rinde und weicher flockiger, den Zunderschwamm liefernder Innenmasse. Auf der Unterseite stehen die engen Hymeniumröhren in übereinander lagernden Jahresschichten. Der ähnliche *Polyp. igniarius*, unechter Zunderschwamm (Fig. 329), besonders an Eichen auftretend, ist rostbraun gefärbt, viel härter und liefert nur einen schlechten Zunder.

Manche Polyporeen sind sehr schädliche Parasiten der Waldbäume, so *Heterobasidion annosum*, das oft ganze Bestände von Kiefern und Fichten vernichtet. Eine sehr schädliche saprophytische Art ist *Merulius lacrymans*, der Hausschwamm (53), dessen Mycelium in feuchtem Bauholz, in erster Linie in Nadelholz, vegetiert und dieses zerstört. An der Oberfläche des Holzes und an dem Mauerwerk bildet das Mycel große grauweiße Watten mit derben sich verzweigenden Strängen, welche zur Leitung von Wasser und Nährstoffen dienen. Schließlich entstehen aus dem Mycel die aus Ritzen hervor-

Fig. 331. Boletus Satanas, Satanspilz. $^1/_2$ nat. Gr. (Nach Krombholz.) — Giftig.

kommenden unregelmäßig lappigen Fruchtkörper mit rostbrauner grubiger Oberfläche. Trockenlegung und gute Durchlüftung der infizierten Räume ist das sicherste Mittel zur Bekämpfung des Hausschwamms.

6. Als artenreichste Gruppe sind schließlich die *Agaricineen* oder Blätterschwämme zu nennen, deren gestielte Hüte auf der Unterseite radial ausstrahlende, senkrecht stehende Lamellen, die mit dem Hymenium überzogen sind, tragen. Die Agaricineenfruchtkörper bilden in ihrer Anlage rundliche, aus Hyphengeflecht bestehende Körper, in denen sich bald der Stiel und der Hut differenzieren. Stiel- und Hutanlagen sind von einer lockeren Hülle umschlossen, der Volva, welche bei der Streckung des Stiels als Scheide am Grunde, bei manchen Blätterpilzen, so beim Fliegenschwamm (Fig. 332) auch in weißen Fetzen auf dem Hut zurückbleibt.

Außer der Volva entwickelt sich bei vielen Blätterpilzen noch ein sogen. Schleier, Velum, eine dünne Hyphenhaut, welche sich an dem jungen Fruchtkörper vom Hutrand quer zum Stiel ausspannt, später aber einreißt und nun als ringförmiger Hautlappen am Stiele sitzen bleibt (Fig. 330).

Manche Hutpilze unserer Wälder und Wiesen werden als vorzügliche Speiseschwämme geschätzt, so vor allem auch der in Kultur genommene Champignon, *Psalliota campestris* (Fig. 330) mit weißlichem Hut und erst weißen, dann rosenroten, zuletzt braunschwarzen Lamellen, ferner der Pfifferling oder Eierschwamm, *Cantharellus*

cibarius mit dottergelbem kreiselförmigem Hut, der Reizker, *Lactarius deliciosus* mit rotgelbem Hut und rotgelbem Milchsaft in besonderen Hyphenschläuchen, der Parasolschwamm, *Lepiota procera* mit weißem braunbeschupptem Hut.

Zu den giftigen Blätterschwämmen gehören vor allem der Fliegenschwamm, *Amanita muscaria* (Fig. 332), der mit dem Champignon oft verwechselte Knollenblätterschwamm *Amanita bulbosa* (Fig. 333) mit weißlichem oder gelblichem Hut und dickknolligem Stielfuß, der Speiteufel, *Russula emetica* mit rötlichem Hut und weißen Lamellen, der Giftreizker, *Lactarius torminosus*, mit gelbem oder rotbraunem zottigem Hut und weißem Milchsaft.

Biologisch sehr interessant ist ein südbrasilischer Hutpilz, die Agaricinee *Rozites gongylophora*, deren Mycel nach A. MÖLLER von den Blattschneiderameisen in ihren Nestern regelrecht kultiviert wird. Das Mycel erzeugt in denselben kugelige, dicht mit Plasma erfüllte Anschwellungen seiner Hyphenenden, die sogen. Kohlrabiköpfchen, welche den Ameisen zur Nahrung dienen. Die Ameisen verhindern die Entwicklung

Fig. 332. Amanita muscaria, Fliegenpilz. $^1/_2$ nat. Gr. — Giftig.

Fig. 333. Amanita bulbosa. Knollenblätterschwamm. $^1/_2$ nat. Gr. — Giftig.

der Conidien, die als Nebenfruktifikation dem Pilz eigentümlich sind und nur bei Kultur des Mycels ohne Ameisen gebildet werden, erhalten also den Pilz in ihren Nestern stets in seinem vegetativen Zustand. Die Fruchtkörper finden sich nur selten auf den Nestern; sie haben in ihrer Form Ähnlichkeit mit denen des Fliegenschwamms, zu dessen Verwandtschaft Rozites gehört. Im tropischen Asien wird nach HOLTERMANN das Mycel von *Agaricus Rajab* von Termiten in deren Nestern kultiviert (54).

Officinell: *Polyporus fomentarius* (= Fomes fomentarius), liefert Fungus Chirurgorum (Pharm. germ., austr.). — *Polyporus officinalis* (= Boletus laricis) Lärchenschwamm liefert Agaricus albus (Pharm. helv.), Agaricinum (Pharm. germ.) und Acidum agaricinum (Pharm. helv.).

6. Ordnung. Gasteromycetes, Bauchpilze (41).

Die Gasteromyceten haben geschlossene, mannigfach gestaltete Fruchtkörper, welche sich erst nach der Sporenreife öffnen, indem die als Peridie bezeichnete feste äußere Hyphenrinde in charakteristischer Weise aufplatzt. Die von der Peridie umschlossene

sporenbildende Innenmasse wird insgesamt als Gleba bezeichnet. Die Gleba ist von zahlreichen Kammern oder Hohlräumen durchsetzt, welche entweder von dem Basidienhymenium ausgekleidet oder von locker verflochtenen Hyphen, deren Zweige in Basidien endigen, angefüllt sind.

Die Gasteromyceten vegetieren mit ihrem Mycel saprophytisch im Humusboden der Wälder und Wiesen und erheben ihre Fruchtkörper über die Oberfläche nach Art der Blätterschwämme. Nur die Gruppe der Hymnogastreen besitzt unterirdische knollenförmige, trüffelähnliche Fruchtkörper.

Verhältnismäßig einfach gebaut ist der Fruchtkörper von *Scleroderma vulgare*, dem Hartbovist, dessen breitkugelige meist 5 cm dicke Basidienfrucht eine weißlich braune lederartige dicke einfache, später am Scheitel rissig gefelderte Peridie besitzt (Fig. 334 *1*). Die im reifen Zustande schwarze Gleba ist gekammert und die Kammern sind ausgefüllt mit birnförmigen Basidien, welche vier sitzende kugelige Sporen tragen (Fig. 334 *2*). Der Hartbovist gilt als giftig und wird zuweilen mit Trüffeln verwechselt.

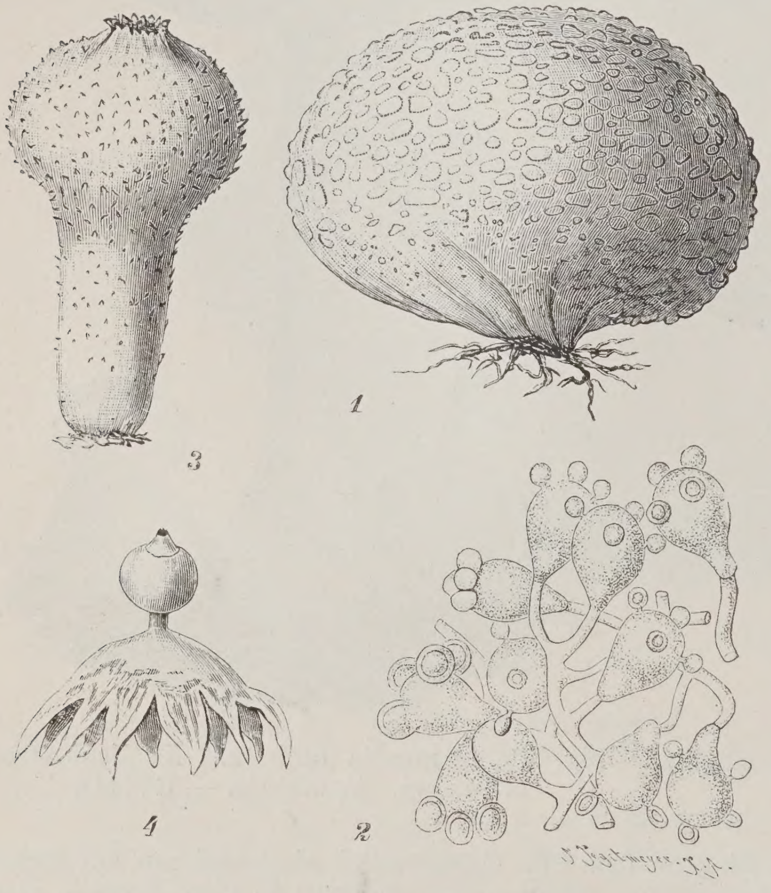


Fig. 334. *1* Scleroderma vulgare, Fruchtkörper. *2* Basidien aus demselben. (Nach TULASNE.) *3* Lycoperdon gemmatum. *4* Geaster granulosus. *1*, *3*, *4* in nat. Gr. *2* vergrößert.

Fig. 335. Phallus impudicus. $^1/_2$ nat. Gr. (Nach KROMBHOLZ.)

Die Gattungen *Bovista* und *Lycoperdon* (Fig. 334 *3*), Boviste und Stäublinge, haben ebenfalls kugelige, bei letzter Gattung auch gestielte, anfangs weißliche, später bräunliche Fruchtkörper. Sie erreichen bei dem Riesenbovist *Lycoperdon Bovista* sogar bis $^1/_2$ Meter Durchmesser. Ihre Peridie ist in Form von zwei Schichten entwickelt, von denen sich die äußere mit der Reife gewöhnlich ablöst und die innere am Scheitel sich öffnet. Die Kammern der Gleba werden hier von einem regelmäßigen Hymenium aus Basidien ausgekleidet. Eine Eigentümlichkeit der Boviste besteht ferner in dem Auftreten sogen. Capillitiumfasern in den Kammern der Gleba, d. h. brauner dickwandiger verästelter Hyphen, welche von den Wänden ausgehen und die Auflockerung der Sporen-

masse besorgen. Die jungen noch weißen fleischigen Boviste sind eßbar, die reifen dagegen enthalten Harnstoff, welcher sonst noch nicht bei Pflanzen gefunden wurde.

Bei der verwandten Gattung *Geaster* (Fig. 334 *4*), Erdstern, ist die Peridie der rundlichen Fruchtkörper ebenfalls als doppelte Hülle ausgebildet. Die äußere Hülle breitet sich bei der Reife in sternförmigen Lappen aus, die innere öffnet sich am Scheitel mit einem Loch.

Die höchste Entwicklung erreicht der Gasteromycetenfruchtkörper in der Gruppe der *Phalloideen*(55), als deren bekanntester Vertreter *Phallus impudicus*, die Stink- oder Gichtmorchel, in Wäldern in Deutschland einheimisch, zu nennen ist. Dieser Pilz galt vielfach als giftig. Früher wurde er zu Gichtsalben verwendet. Sein Fruchtkörper gleicht habituell den echten, zu den Discomyceten gehörenden Morcheln, hat aber eine ganz andere Entwicklungsgeschichte. Er ist etwa 15 cm hoch, hat einen langen dicken, innen hohlen, netzförmig gekammerten weißen Stiel und einen glockenförmigen, mit der braungrünen, im reifen Zustand zu Schleim verflüssigten, sporenhaltigen Glebamasse bedeckten Hut (Fig. 335). Der junge Fruchtkörper bildet einen eiförmigen weißen Körper (Hexenei oder Teufelsei genannt) und wird von einer doppelwandigen Hülle mit gallertartiger Mittelschicht ganz umschlossen. Im Innern der Hülle oder Peridie (auch Volva genannt) differenziert sich das Hyphengewebe in den axilen Stiel und in den glockenförmigen Hut. Im Umkreise des Hutes wird die Gleba ausgeblildet. Bei der Reife streckt sich der Stiel enorm in die Länge, sprengt dabei die an seiner Basis als Scheide zurückbleibende Hülle und hebt den glockenförmigen Hut mit der anhaftenden Gleba empor. Letztere zerfließt alsbald zu einer Masse, welche einen ekelhaften aasartigen Geruch verbreitet, und dadurch Aasinsekten zur Verbreitung der Sporen anlockt.

Klasse XIII.

Lichenes, Flechten (33, 56, 58).

Die Flechten sind symbiotische Organismen, sie bestehen aus Fadenpilzen, und zwar aus *Ascomyceten*, nur in ganz vereinzeltem Falle aus *Basidiomyceten*, welche mit gewissen einfacheren einzelligen oder fädigen Algen, entweder *Cyanophyceen* oder *Chlorophyceen*, gemeinsam vegetieren und so einen zusammengesetzten Thallus, ein Konsortium bilden. Die Flechtenpilze und Flechtenalgen sind im natürlichen System in die Gruppen der nächstverwandten Pilze und Algen einzureihen. Die Flechten besitzen aber untereinander so viel Übereinstimmendes in Bau und Lebenweise und haben sich als Konsortien phylogenetisch weiter entwickelt, so daß sie hier zweckmäßiger als besondere Klasse behandelt werden müssen.

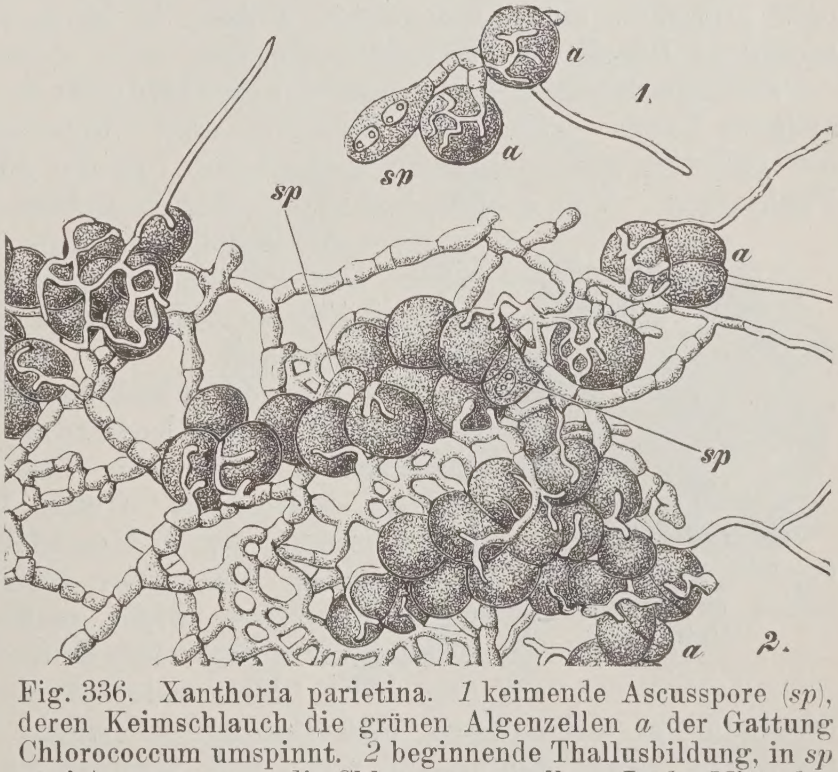


Fig. 336. Xanthoria parietina. *1* keimende Ascusspore (*sp*), deren Keimschlauch die grünen Algenzellen *a* der Gattung Chlorococcum umspinnt. *2* beginnende Thallusbildung, in *sp* zwei Ascussporen, *a* die Chlorococcumzellen. In der Mitte des Mycels beginnt durch Fusionen an den kurzgliederigen Hyphen die Bildung einer pseudoparenchymatischen Rindenschicht. Vergr. 500. (Nach BONNIER.) Aus v. TAVEL, Pilze.

Was das Verhältnis von Pilz zu Alge anbelangt, so umspinnt der Pilz mit seinem Mycel die Algenzellen (Fig. 336, 337), schließt sie in ein Hyphengewebe ein und ernährt sich von den durch die assimilierenden grünen Algenzellen erzeugten organischen Stoffen; er kann aber auch Haustorien in die Algenzellen hinein entsenden und sogar deren Inhalt aufzehren. Andererseits gewährt der Pilz den in seinem Gewebe lebenden Algenzellen bestimmte Vorteile, liefert ihnen die anorganischen Stoffe und Wasser, vielleicht auch organische Verbindungen (vgl. S. 188). Die Symbiose der flechtenbildenden Pilze mit Algen führt so zur Bildung von zusammengesetzten Organismen mit eigenartiger Form des Thallus, welcher entsprechend seiner durch die Algen bedingten selbständigen Ernährungsweise andere Gestalten als bei den nicht flechtenbildenden Fadenpilzen, deren Thallus ein reich verzweigtes Mycelium darstellt, aufweist, vielmehr die Formen der Algen und Lebermoose vielfach wiederholt.

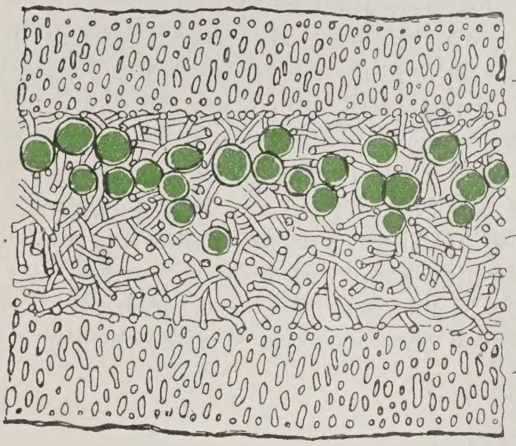


Fig. 337. Cetraria islandica. Querschnitt durch den Thallus. *or* Rindenschicht der Oberseite, *ur* der Unterseite, *m* Markschicht mit den grünen Algenzellen von Chlorococcum humicola. Vergr. 272.

Der Flechtenthallus kann sehr verschiedene Ausbildung erfahren. Man unterscheidet folgende Formen, welche früher auch zur Einteilung benutzt wurden, aber nicht den natürlichen Verwandtschaftsgruppen entsprechen.

Die einfachsten Flechtenformen sind die Fadenflechten, bestehend aus Algenfäden, welche mit Pilzhyphen der Länge nach umsponnen sind. Als Beispiel sei *Ephebe pubescens* genannt, eine an feuchten Felsen in Form von zierlichen verästelten niedrigen Räschen auftretenden Flechte.

Sodann unterscheidet man Gallertflechten, mit gallertigem, laubartigem Lager. Die Algen derselben sind Chroococcaceen und Nostocaceen mit gallertig aufgequollenen Membranen. In der Algengallerte verlaufen die Pilzhyphen. Von einheimischen Gattungen gehört z. B. *Collema* hierher.

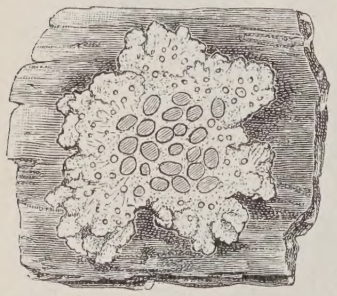


Fig. 338. Xanthoria parietina, auf Baumrinde. Nat. Gr.

Sowohl bei den Faden- als Gallertflechten sind Algen und Pilzhyphen gleichmäßig im Thallus verteilt und wird dieser daher als ungeschichtet oder homöomer bezeichnet.

Die übrigen Flechten weisen dagegen einen geschichteten oder heteromeren Thallus auf. Die Algenzellen, die man bei den Flechten als Gonidien bezeichnet, treten im heteromeren Thallus in bestimmten sogen. Gonidienschichten auf, welche nach außen von einer algenfreien und aus pseudoparenchymatisch dicht verflochtenen Pilzhyphen bestehenden sogen. Rindenschicht bedeckt werden (Fig. 337). Man unterscheidet unter den heteromeren Flechten im allgemeinen drei Vegetationsformen, nämlich die Krustenflechten, deren Thallus in Form von Krusten an Baumstämmen, Felsen oder auf dem Erdboden auftritt und dem Substrat fest anhaftet, mittels Pilzhyphen etwas in dasselbe eindringt, ferner die Laubflechten (Fig. 338), deren Thallus laubartig klein- oder großlappig, mit zerschlitzten Lappen

ausgestaltet und auf der Unterseite entweder nur in der Mitte oder bis auf die freien Ränder mittels rhizoidartiger Pilzhyphen (Rhizinen) angewachsen ist, endlich die Strauchflechten (Fig. 339), mit verzweigtem fadenförmigem oder bandförmigem, an der Basis angeheftetem, zuweilen auch frei auf dem Substrat liegendem Thallus.

An den natürlichen Standorten scheinen die Flechtenpilze sich nur dann aus den Sporen weiter zu entwickeln, wenn sie die ihnen zusagenden Algenzellen zur Verfügung haben. Nur für ganz wenige Flechtengattungen ist festgestellt, daß ihr Pilz auch ohne Algen in der Natur existenzfähig ist, so für die tropische *Cora pavonia* (Fig. 345), deren Pilz zu der Ordnung der Hymenomyceten gehört und auch algenfreie Fruchtkörper, welche denen der Pilzgattung *Thelephora* in der Form entsprechen, erzeugen kann. Wohl aber ist es gelungen, aus den Sporen gewisser flechtenbildender Ascomyceten unter Zufuhr geeigneter Nährlösung auch ohne Algen in der Kultur Mycelien und kleine Thalli zu ziehen.

Viele Flechten vermögen sich auf rein vegetative Weise zu vermehren, dadurch, daß losgerissene Teile des Thallus weiter wachsen und sich wieder mit Rhizinen festsetzen. Die meisten heteromerischen Flechten besitzen ferner in der Bildung von Soredien ein ausgezeichnetes Mittel vegetativer Vermehrung. Dieselbe vollzieht sich in den Gonidienschichten. Kleine Gruppen von sich teilenden Algenzellen werden dicht umsponnen von Mycelfäden, lösen sich los und bilden isolierte Körperchen, die in großer Masse erzeugt und unter Aufreißen der Thallusrinde als staubartige Masse frei werden, um durch den Wind verbreitet sich anderswo wieder zu einer Flechte weiter zu entwickeln.

Was die Fruktifikation der Flechten anbelangt, so ist dieselbe nur an die Flechtenpilze, nicht an die vegetativ bleibenden Flechtenalgen gebunden. Die Flechtenpilze gehören ihrer natürlichen Verwandtschaft nach zu den *Ascomyceten*, nur eine einzige Gattung zu den *Hymenomyceten*.

1. Ascolichenes.

Nur wenige Flechtengattungen haben krugförmige Perithecien; ihre Pilze gehören daher zu den Pyrenomyceten, so die Laubflechte *Endocarpon*, die Krustenflechte *Verrucaria*.

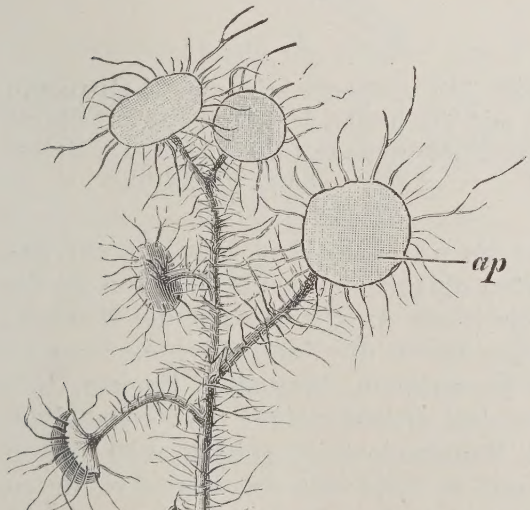


Fig. 339. Usnea barbata. *ap* Apothecium. Nat. Gr.

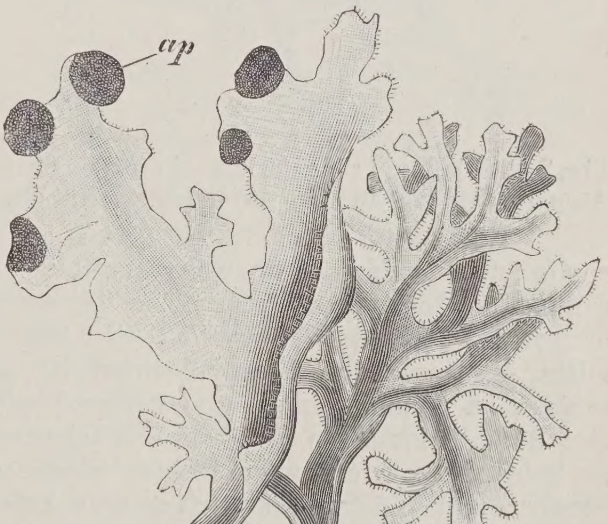


Fig. 340. Cetraria islandica. *ap* Apothecium. Nat. Gr. — Officinell.

Die meisten Gattungen aber entwickeln als Ascusfrüchte ihrer Pilze offene, meist schüssel- oder scheibenförmige, dem Thallus aufsitzende oder in ihn etwas eingesenkte

Apothecien, welche in ihrem Aufbau wie bei den Discomyceten, speziell den Pezizeen (vgl. Fig. 309), beschaffen sind, also auf ihrer Oberseite ein Hymenium aus Asci und Paraphysen tragen. Von Strauchflechten gehört hierher als eine der häufigsten Arten die an Baumstämmen festsitzende *Usnea barbata*, die sogen. Bartflechte mit großen, am Rande bewimperten Apothecien (Fig. 339), ferner die an Felsen der afrikanischen Küsten und Ostindiens weit verbreitete *Roccella tinctoria* mit aufrechtem, wurmförmigem, gabelig geteiltem Thallus, aus welchem Lackmus und Orseille gewonnen werden. Eine Mittelstellung zwischen Strauch- und Blattflechten nimmt *Cetraria islandica*, das isländische Moos (Fig. 340) ein, mit vielteiligen, aufsteigenden, blattartigen Thalluslappen, welche braun, auf der Unterseite weißlich gefärbt sind und die Apothecien schief randständig tragen. Diese Flechte ist auf den Gebirgen und im Norden der nördlichen Hemisphäre,

Fig. 341. Cladonia coccifera. *t* Thallusschüpchen. Nat. Gr.

Fig. 342. Cladonia rangiferina. *A* steril, *B* mit Ascusfrüchtchen an den Astenden. Nat. Gr.

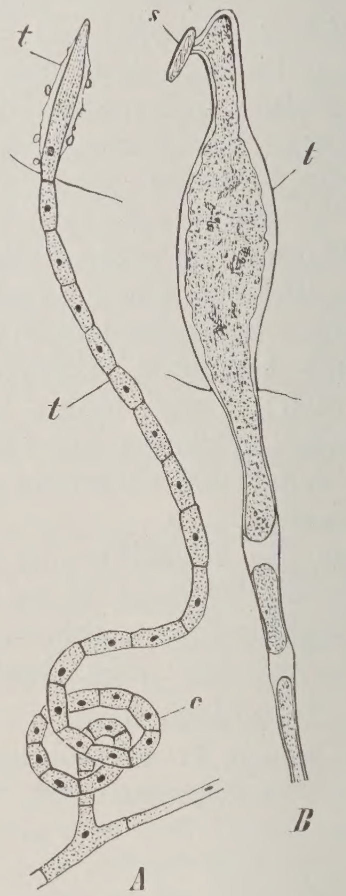


Fig. 343. Collema crispum. *A* Carpogon *c* mit Trichogyn *t*. Vergr. 405. *B* Spitze des Trichogyns mit Spermatium *s*. Vergr. 1125. (Nach E. Baur.)

sowie auch am Kap Horn weitverbreitet und dient als officinelles Gewächs zur Bereitung der Licheningallerte. Eine der gewöhnlichsten einheimischen Blattflechten ist die orangegelbe *Xanthoria parietina* (Fig. 338) mit zahlreichen Apothecien auf der Thallusmitte. — Unter den Krustenflechten ist als häufige Form die Schriftflechte, *Graphis scripta*, zu nennen, deren grauweißer Thallus auf Baumrinden, besonders Buchen, lebt und deren Apothecien die Form von schwarzen, schmalen, strichförmigen oder gegabelten, an Schriftzüge erinnernden Rinnen haben. Zu den Krustenflechten gehört auch die in Steppen und Wüsten Nordafrikas und Asiens verbreitete *Sphaerothallia esculenta*, deren felsbewohnender Thallus in erbsengroße Stücke, die durch den Wind verbreitet werden, leicht zerfällt. Diese rundlichen Gebilde sind eßbar und werden von den Tartaren zur Bereitung von „Erdbrot“ verwandt.

Eine sehr eigenartige Entwicklung erfährt der Flechtenthallus bei der vielgestaltigen erdbewohnenden Gattung *Cladonia*[57], deren Thallus zunächst aus horizontalen, dem Substrat aufsitzenden gekerbten Schüppchen besteht. Auf diesem Thallus erheben sich nun die zusammengesetzten Fruchtkörper (Podetien), die bei den einzelnen Arten sehr

verschiedene Gestalt haben und in ihrer Form auch sehr stark variieren. Sie sind bei manchen Arten, so bei *Cladonia pyxidata*, der Becherflechte, und bei *Cladonia coccifera* (Fig. 341) gestielt kreiselförmig und tragen am Becherrand oder auf Aussprossungen desselben die bei ersterer Art braunen, bei letzterer lebhaft roten Apothecien in Form von rundlichen Knöpfchen. Bei anderen Arten sind die Podetien aufrecht schmal cylindrisch einfach oder gegabelt; bei *Cladonia rangiferina*, der Renntierflechte, welche über die ganze Erde verbreitet und in großer Menge rasenbildend in den nordischen Tundren auftritt, sind die Podetien (Fig. 342) zierlich verästelt und tragen an den Astenden die kleinen braunen Apothecien. Oft bleiben aber die Podetien dieser Art wie auch der anderen Cladonien steril, indem die im Innern vorhandenen ascogenen Hyphen nicht zur Bildung der Asci gelangen.

Die Ascusfrüchte, Apothecien oder Perithecien, nehmen, wie STAHL (58) zuerst nachwies, auch bei den Flechten ihren Ursprung aus befruchteten Carpogonen, die in jungen Thalluslappen oft in sehr großer Anzahl angelegt werden. Das Carpogon (Fig. 343) ist hier ein vielzelliger, im unteren Teil mehrfach schraubig gewundener Faden, der sich in ein langzelliges, aus dem Thallus mit der Spitze hervorragendes Trichogyn fortsetzt. Die Zellen enthalten je 1 Kern, führen im unteren Teil des Carpogons dichteres Plasma und sind durch Tüpfel verbunden. Abgesehen von der Vielzelligkeit erinnern

Fig. 344. Schnitt durch den Thallus von Anaptychia ciliaris mit einem Spermogonium *sp*, *c* Rindenschicht, *m* Markschicht, *g* Algenschicht. Vergr. 90.

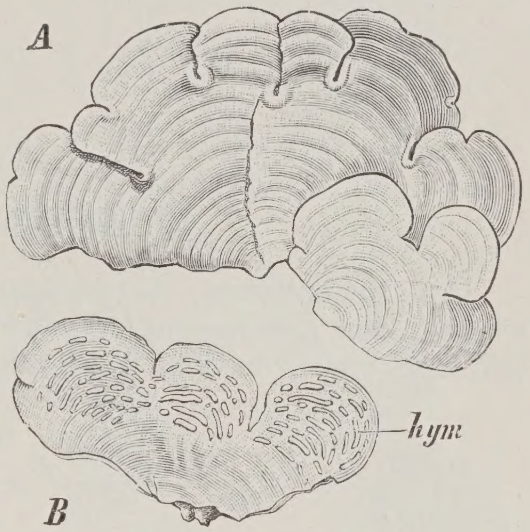


Fig. 345. Cora pavonia. *A* von oben, *B* von unten, *hym* Hymenium. Nat. Gr.

diese Gebilde an die Carpogone der Florideen. Als männliche Sexualzellen fungieren wahrscheinlich die in besonderen krugförmigen Behältern, den Spermogonien (Fig. 344), erzeugten Spermatien, die von den Enden der diese Organe auskleidenden Hyphenfäden als rundliche oder stäbchenförmige Zellen abgegliedert werden und nach der Entlassung mit den klebrigen Spitzen der Trichogynen kopulieren (Fig. 343 *B*). Die Spermatien erscheinen nach der Kopulation leer, ohne Kern; darauf collabieren die Zellen des Trichogyns, gehen später zu Grunde, während die mittleren Zellen des schraubigen Carpogons anschwellen, sich auch noch weiter teilen und zu einem Ascogon werden, das nun durch Aussprossung die ascogenen Hyphen und aus diesen die Asci liefert. Die vegetativen Hyphen und die Paraphysen der Früchte entspringen aus den unter dem Ascogon befindlichen Hyphen. Entweder nur ein oder auch mehrere Ascogone zusammen geben eine Frucht. Das Verhalten der Sexualkerne bedarf noch eingehender Untersuchung. Vergleicht man die Sexualorgane der Flechten mit denen der Schlauchpilze, so ist hervorzuheben, daß bei den ersteren schlauchförmige Antheridien, wie sie bei Erysipheen und Pyronema auftreten, nicht beobachtet sind, die männlichen Sexualzellen vielmehr ganz anders entstehen, andererseits aber mit den Spermatien der Florideen sich vergleichen lassen. Spermogonien und Spermatien entsprechen ferner in ihrer Bildung ganz den Pykniden und Pyknosporen der Ascomyceten und auch der Uredineen. Dazu kommt, daß durch A. MÖLLER festgestellt ist, daß die Flechtenspermatien auch vegetativ zu Mycelien auskeimen können. BREFELD und MÖLLER fassen daher die Spermatien als Conidien auf und bestreiten die Sexualität der Flechten.

2. *Hymenolichenes* (59).

Die *Hymenolichenen* werden durch die in den Tropen weitverbreitete, auf Erdboden oder auf Bäumen lebende *Cora pavonia* vertreten, zu welcher auch die Gattungen *Dictyonema* und *Laudatea* als besondere Wuchsformen zu rechnen sind. Der Pilz der Cora ist eine Thelephoree (vgl. S. 322), deren halbkreisförmige, gelappte, flache, dachziegelartig gruppierte Fruchtkörper auch ganz ohne Algen gefunden werden. Tritt der Pilz in Symbiose mit einzelligen Chroococcusalgen, so resultiert als Fruchtkörper die *Cora pavonia* (Fig. 345), welche wie eine Thelephorafrucht auf der Unterseite ein durch Risse gefeldertes Basidienhymenium entwickelt. Tritt dagegen derselbe Pilz mit den Fäden der blaugrünen Alge Scytonema in Symbiose, so bildet sich, wenn der Pilz überwiegt, die Flechte zu strahlig fädigen, halbkreisförmigen oder kreisförmigen, an Baumästen abstehenden Scheiben mit dem Hymenium auf der Unterseite aus (*Dictyonema*-Form), und wenn die Alge formbestimmend ist, in Form von feinfädigen filzigen Überzügen auf Baumrinde mit unregelmäßigen, an dem Lichte abgewandten Stellen des Thallus erscheinenden Hymenien (*Laudatea*-Form).

Officinell ist unter den Flechten nur *Cetraria islandica*, Lichen islandicus (Pharm. germ., austr., helv.).

II.

Bryophyta, Moospflanzen (60, 61).

Die Bryophyten, Moospflanzen oder Muscineen umfassen die beiden Klassen der *Lebermoose* (*Hepaticae*) und der *Laubmoose* (*Musci*). Sie unterscheiden sich von den Thallophyten zunächst durch den charakteristischen Bau ihrer Geschlechtsorgane, der Antheridien und Archegonien, welche in ganz ähnlicher Ausbildung auch bei den höchststehenden Kryptogamen, den Pteridophyten wiederkehren. Bryophyten und Pteridophyten dürften daher von gemeinsamen Stammformen den Ausgang ihrer Entwicklung genommen haben und werden den Thallophyten gegenüber auch als *Archegoniaten* zusammengefaßt.

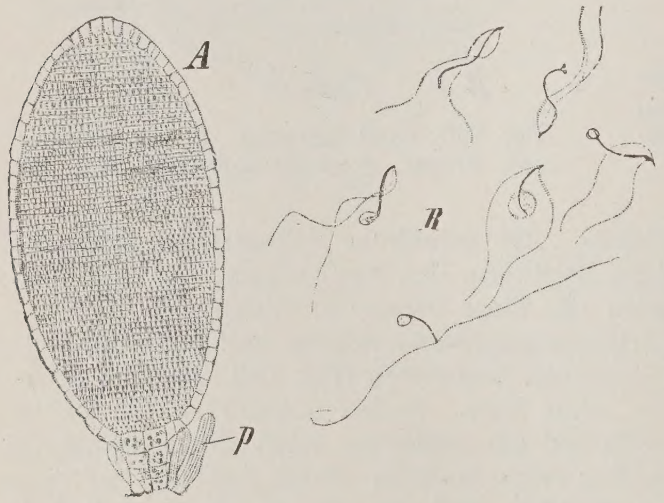


Fig. 346. Marchantia polymorpha. *A* ein fast reifes Antheridium im optischen Durchschnitt, *p* Paraphysen. *B* Spermatozoiden mit 1proc. Überosmiumsäure fixiert. *A* Vergr. 90. *B* Vergr. 600.

Die Antheridien oder männlichen Organe sind besondere, auf einem mehrzelligen Stiele sitzende ovale, kugelige oder keulenförmige Gebilde, deren dünne Wandung aus einer einzigen Zellschicht besteht und zahlreiche kleine Zellen umschließt, von denen jede ein Spermatozoid erzeugt (Fig. 346). Bei der Reife trennen sich die Spermatozoidenmutterzellen, die Wandung des Antheridiums platzt am Scheitel auf, und nun werden die zahlreichen Spermatozoidmutterzellen entleert, aus welchen durch Verquellung der Wandung die Spermatozoiden als kurze, etwas gewundene, nahe am Vorderende zwei lange feine Cilien tragende Fäden frei werden.

Die Archegonien stellen sitzende oder kurzgestielte, zuweilen auch in das Gewebe eingesenkte flaschenförmige Organe vor, deren Wandung ebenfalls einschichtig ist und einen Bauchteil und einen Hals unterscheiden läßt. Der Bauchteil umschließt eine große Centralzelle, deren Inhalt kurz vor der Reife in die Eizelle (Fig. 347 *A*, *o*) und in eine am Grunde des Halses gelegene sogen. Bauchkanalzelle (*k''*) zerfällt. An diese schließt im Halse selbst eine centrale Reihe von Halskanalzellen (*k'*) an. Bauch- und Kanalzellen wandeln sich bei der Reife in Schleim um. Bei Wasserzutritt weichen die Zellen am Scheitel des Halses auseinander (*B*) und der Schleim wird aus dem Archegonium entleert. Bestimmte in diesem vertretene Stoffe (Rohrzucker bei Laubmoosen) diffundieren in das umgebende Wasser und bestimmen die Bewegungsrichtung der Spermatozoiden, die auf den Archegoniumhals zusteuern. Sie gelangen in den Hals und durch diesen bis zum Ei, in welches ein Spermatozoid eindringt. Da der Befruchtungsvorgang sich nur im Wasser vollziehen kann, so erfolgt er bei den Landformen nur nach Benetzung durch Regen oder Tau. Nach der Befruchtung stellen sich Teilungen in der Eizelle ein und sie entwickelt sich direkt weiter zum Embryo (*C*), ohne erst zu einer Oospore zu werden und als solche einen Dauerzustand durchzumachen.

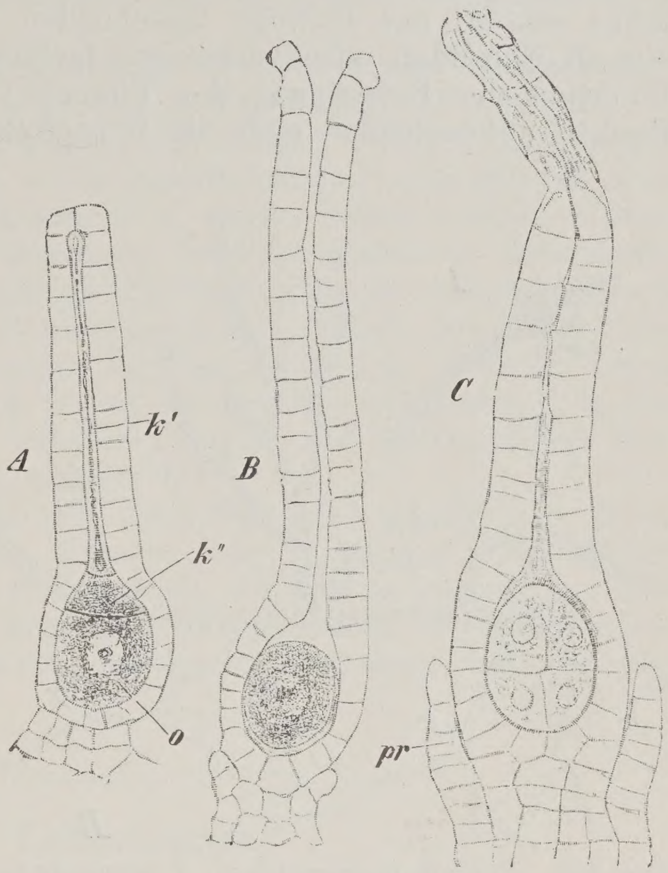


Fig. 347. Marchantia polymorpha. *A* junges, *B* geöffnetes Archegonium, *C* befruchtetes Archegonium nach erfolgtem Beginn der Keimbildung, *k'* Halskanalzelle, *k''* Bauchkanalzelle, *o* Ei, *pr* Pseudoperianth. Vergr. 540.

Außer der sexuellen Fortpflanzung findet allgemein bei den Moosen wie auch bei den Pteridophyten eine ungeschlechtliche Fortpflanzung durch einzellige, mit Membran umkleidete, an die Verbreitung in der Luft angepaßte Sporen statt. Beide Fortpflanzungsweisen wechseln in regelmäßigster Weise miteinander ab und sind auf zwei scharf geschiedene Generationen, eine geschlechtliche, welche die Sexualorgane erzeugt, und eine ungeschlechtliche, welche die Sporen hervorbringt, verteilt. Die geschlechtliche Generation geht aus den Sporen hervor, die ungeschlechtliche aus der befruchteten Eizelle. Dieser regelmäßige Generationswechsel ist charakteristisch für alle Archegoniaten.

Was zunächst die geschlechtliche Generation anbelangt, so keimt die einzellige Spore unter Sprengung ihrer äußeren cutinisierten, als Exine bezeichneten Haut zu einem Schlauche aus, der bei den Lebermoosen alsbald zur Ausbildung der definitiven Pflanze schreitet, während er bei den meisten Laubmoosen zunächst ein Protonema erzeugt, das in seiner Gestalt an den Thallus der Confervoideen erinnert (Fig. 348 *A*, *B*). Die Protonemazellen enthalten grüne Chlorophyllkörner. Von den grünen Fäden gehen farblose verzweigte Rhizoiden oder Wurzelhaare ab und dringen in den

Boden ein (Fig. 348 *r*). Unter den Verzweigungsstellen des Protonema entstehen nunmehr kleine Knospen (*kn*), aus denen die definitive Moospflanze hervorwächst. Protonema und Moospflanze stellen aber, auch wo sie in solcher Weise voneinander abgesetzt sind, nur die eine geschlechtliche Generation der Pflanze vor. Viele Lebermoose weisen noch einen aus dichotomisch verzweigten Lappen bestehenden Thallus auf, welcher an seiner Basis oder an seiner Unterseite mittels Rhizoiden festgeheftet ist, und wiederholen somit den vegetativen Aufbau mancher Algen (Fig. 350). Bei anderen Lebermoosen und bei allen Laubmoosen dagegen ist eine scharfe Gliederung in Stengel und Blätter durchgeführt (Fig. 356, Fig. 362), indessen sind noch keine echten, aus Gewebe bestehenden Wurzeln vorhanden, deren Stelle überall Rhizoiden, also verzweigte farblose Zellfäden, die hauptsächlich die Funktion der Befestigung der Pflanze verrichten, einnehmen. In diesem Punkte unterscheiden sich die Bryophyten wesentlich von den mit echten

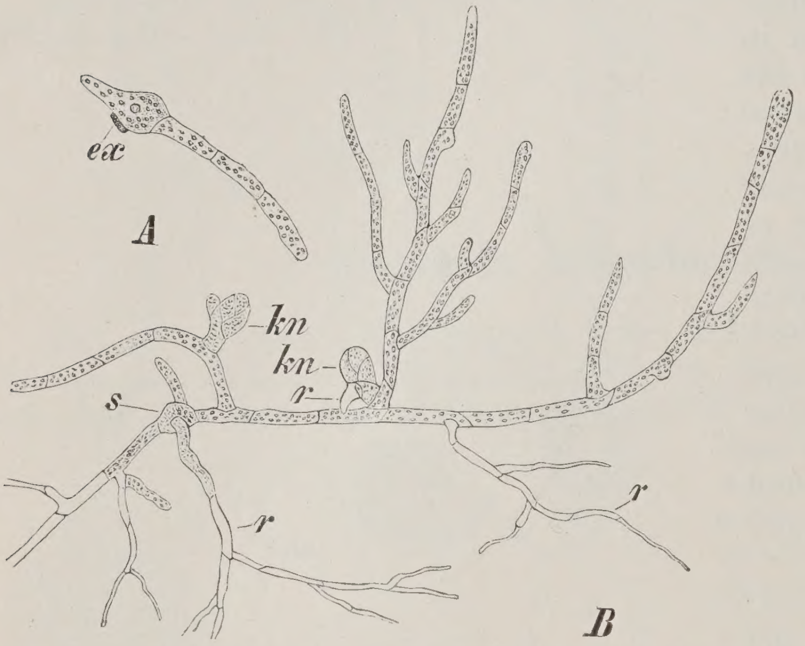


Fig. 348. Funaria hygrometrica. *A* keimende Spore, *ex* Exine. *B* Protonema mit Knospen *kn* und Rhizoiden *r*, *s* Spore. Vergrößert. (Nach MÜLLER-THURGAU.)

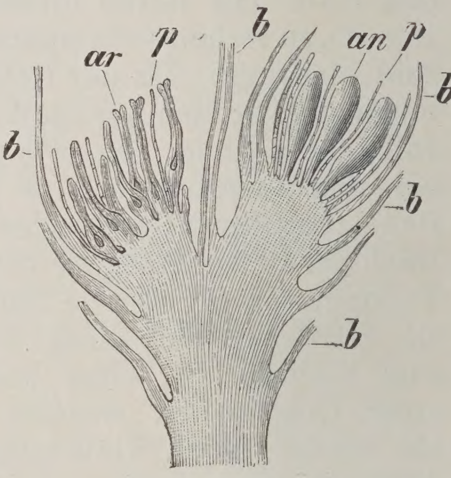


Fig. 349. Antheridien *an* und Archegonien *ar* an den Enden des gabelig verzweigten Moosstämmchens von Phascum cuspidatum, *b* Blätter, *p* Paraphysen. Vergr. 45. (Nach HOFMEISTER.)

Wurzeln ausgestatteten Pteridophyten. Auch sind die Moosstämmchen und Blätter von einfacher anatomischer Struktur, sie werden, wenn überhaupt, nur von sehr einfachen, aus gestreckten Zellen gebildeten Leitbündeln durchzogen. Die fertig entwickelte geschlechtliche Generation erzeugt die Sexualorgane, die in der Regel zu mehreren, bei thalloiden Formen dem Rücken des Thallus entspringen, bei kormophyten auf den Scheitel des Stämmchens oder dessen Äste rücken (Fig. 349).

Aus der befruchteten Eizelle (Fig. 347 *C*) geht durch Teilung ein vielzelliger Embryo hervor, welcher heranwächst und die zweite oder ungeschlechtliche Generation, die von dem Sporogon oder der gestielten Mooskapsel vorgestellt wird, liefert. Das Sporogon besteht aus einem meist rundlichen oder ovalen, kapselartigen Sporenbehälter, in dessen innerem Gewebe die zahlreichen einzelligen Sporen erzeugt werden, die bei der Reife aus der sich öffnenden Kapsel entleert werden. Allgemein entstehen die Sporen bei den Bryophyten wie auch bei allen Pteridophyten zu 4, in Tetraden, durch zweimalige Teilung aus den Sporenmutterzellen, welche

sich vorher voneinander loslösen und abrunden und den eigentlichen Ausgangspunkt der geschlechtlichen Generation vorstellen. Die Sporenkapsel sitzt meist auf einem kürzeren oder längeren Stiel, dessen unteres Ende, der sogen. Fuß, in dem erweiterten Archegoniumbauch stecken bleibt und von dem darunterliegenden Gewebe scheidenartig überwuchert wird, daher in dasselbe eingesenkt erscheint. Obwohl also das Sporogon eine besondere Generation der Moospflanze darstellt, bleibt es zeitlebens mit der anderen Generation verbunden und bezieht wie eine halbparasitische Pflanze von dieser zum Teil die zu seiner Entwicklung nötigen Substanzen.

Die beiden scharf geschiedenen Klassen der Bryophyten charakterisieren sich kurz folgendermaßen:

1. *Hepaticae, Lebermoose.* Geschlechtliche Generation mit schwach entwickeltem und meist nicht scharf abgesetztem Protonema, ist entweder als gabelteiliger Thallus oder als beblätterter, mit einigen wenigen Ausnahmen dorsiventraler Stengel ausgebildet. Der Sporenbehälter erzeugt bei den meisten außer den Sporen auch Elateren d. h. sterile Zellen, welche in den typischen Fällen zu langen mit spiraligen Verdickungsleisten versehenen Zellen auswachsen (Fig. 353 *F*), anfangs die Stoffzufuhr zu den sporogenen Zellen vermitteln und bei der Reife und nach dem Öffnen der Kapsel zur Auflockerung oder zum Wegschleudern der Sporen dienen. Nur bei einer Ordnung, den Anthocerotaceen, wird in der Kapsel eine Columella, d. h. ein axiler Körper aus sterilen Zellen, welcher ebenfalls die Stoffzufuhr zu den sich entwickelnden Sporen besorgt, ausgebildet.

2. *Musci*, *Laubmoose.* Vorkeim der geschlechtlichen Generation meist kräftig entwickelt, scharf abgesetzt, Pflanze stets in Stengel und Blätter gegliedert. Die Blätter in spiralig mehrzeiliger, seltener in zweizeiliger Anordnung, Stengel also poly- oder bisymmetrisch beblättert. Sporenbehälter stets ohne Elateren, aber mit Columella, welche nur bei einer Gattung fehlt.

Klasse I.

Hepaticae, Lebermoose (62).

Die Lebermoose zerfallen nach dem Bau der Sporogone und der Gliederung der geschlechtlichen Generation in vier Ordnungen, von denen die *Ricciaceen*, *Marchantiaceen* und *Anthocerotaceen* ausschließlich thallöse Formen, die *Jungermanniaceen* teils thallöse, teils foliose Formen umfassen.

1. Ordnung. Die Ricciaceen weisen unter allen Hepaticae die einfachste Ausbildung auf. Es gehören zu ihnen die Arten der Gattung *Riccia*, deren dichotomisch gelappter Thallus auf Schlammboden am Ufer der Gewässer oder auf feuchten Äckern kleine Rosetten bildet. *Riccia natans* schwimmt mit ihren breiten Thalluslappen frei auf der Oberfläche des Wassers nach Art der Lemnaceen. *Riccia fluitans* (Fig. 350) lebt dagegen ganz untergetaucht und hat schmale reicher verästelte Thalluslappen, sie kann aber auch auf Schlammboden niederliegende Rosetten bilden. Die Riccien tragen auf der Unterseite des Thallus feine Rhizoiden und besitzen außerdem daselbst eine Reihe von quergestellten einschichtigen Zelllamellen, sogen. Ventralschuppen, welche wie erstere sich an der Nährstoffauf-

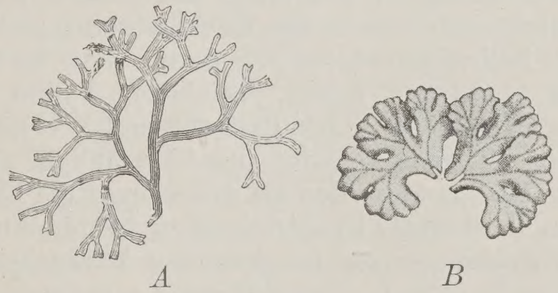


Fig. 350. Riccia fluitans. *A* Untergetaucht schwimmende Form; *B* Landform. Nat. Gr. *B* nach GÖBEL.

nahme beteiligen. Beide Organe fehlen vollständig der submersen Form von *Riccia fluitans*, die somit die einfachste Form eines Lebermooses darstellt.

Antheridien und Archegonien treten auf der Oberseite auf und sind eingesenkt Aus der Eizelle entwickelt sich nach der Befruchtung ein ungestieltes kugeliges Sporogon mit einschichtiger Wandung. Die Wandung wird vor der Sporenreife aufgelöst und die Sporen werden durch Verwitterung und Zerreißung des sie umgebenden Archegoniumbauches und der umgebenden Zellen des Thallus frei.

2. Ordnung. Die Marchantiaceen sind weit höher organisiert und in manchen Gattungen von recht kompliziertem Aufbau. Als Beispiel sei die auf feuchtem Erdboden, an Quellen bei uns sehr häufige *Marchantia polymorpha* geschildert. Sie bildet bis 2 cm breite, an den Enden sich gabelig verzweigende niederliegende Thalluslappen (Fig. 352 *A*, Fig. 353 *A*) mit undeutlich ausgeprägten Mittellinien. — An der Unterseite entspringen lange einzellige Rhizoiden, welche zum Teil glattwandig sind und vorzugsweise der Befestigung des Thallus dienen, zum Teil aber zapfenförmige, in das Lumen hineinragende Wandverdickungen aufweisen und die Wasserzuführung vermitteln (Zäpfchenrhizoiden), außerdem einschichtige Schuppen. Die Dorsiventralität des Thallus

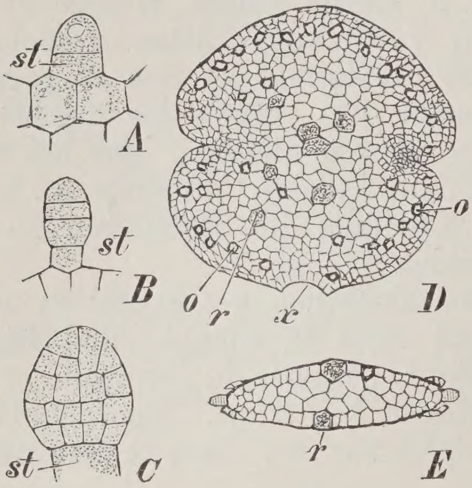


Fig. 351. Marchantia polymorpha. *A*—*C* Brutkörperentwicklung. *st* Stielzelle. *D* Brutkörper von der Fläche. *E* im Querschnitt *x* Ablösungsstelle. *o* Ölzellen, *r* Rhizoidenanlagen. *A*—*C* Vergr. 275. *D*—*E* Vergr. 65. (Nach KNY.)

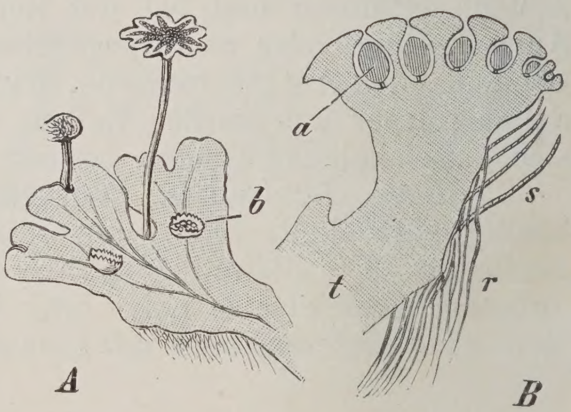


Fig. 352. *A* männliche Pflanze von Marchantia polymorpha, *b* Brutkörbchen. Nat. Gr. *B* Antheridiumstand mit den eingesenkten Antheridien *a* vergrößert, *t* Thallus, *s* Ventralschuppen, *r* Rhizoiden. Etwas vergr.

macht sich auch in dem komplizierten anatomischen Aufbau geltend. Auf der Oberfläche des Thallus bemerkt man schon mit bloßem Auge eine zierliche rhombische Felderung. Jedes Feld entspricht einer unter der obersten Zellschicht oder Epidermis befindlichen, von geschlossenen seitlichen Wänden abgegrenzten Luftkammer, welche durch eine Atemöffnung in der Mitte des Feldes nach außen führt (Fig. 159 *A, B*). Die Öffnung besteht aus einem kurzen Kanal mit einschichtiger, aus mehreren ringförmigen Etagen von je vier Zellen gebildeten Wandung. Vom Boden der Kammer erheben sich zahlreiche kurze, aus rundlichen Zellen bestehende Fäden, welche die Chlorophyllkörner enthalten und das eigentliche Assimilationsgewebe vorstellen. Auch in den Kammerwänden und in der Epidermis befindet sich Chlorophyll, aber in geringerer Menge. Im übrigen besteht der Thallus unter den als grübchenartige Einsenkung angelegten und dann durch Wachstum bestimmter Epidermiszellen überdachten Luftkammern aus großen chlorophyllarmen, als Speicherzellen fungierenden Parenchymzellen, die nach unten von einer einschichtigen Epidermis abgeschlossen werden. Auf die Ausbildung der Luftkammern ist die Belichtung von großem Einfluß. Bei sehr schwacher Belichtuug kann ihre Bildung ganz unterbleiben.

Auf den Mittelrippen der Oberseite des Thallus treten in der Regel zierliche becherförmige Auswüchse mit gezähntem Rand, die Brutbecher oder Brutkörbchen (Fig. 352 *b*), auf, in deren Mitte eine Anzahl von flachen grünen Brutkörperchen von biskuitförmigem Umriß sich befinden. Sie entstehen, wie Fig. 351 zeigt, durch Hervor-

wölbung und weitere Teilung einzelner Epidermiszellen und sitzen mit einer Stielzelle (*st*) bis zu ihrer fertigen Ausbildung fest, um sich dann von derselben (*D* bei *x*) abzulösen. Sie besitzen an den beiden Einschnürungsstellen zwei Vegetationspunkte, von denen aus sie sich nach der Ablösung zu neuen Pflänzchen weiter entwickeln, und bestehen aus mehreren Schichten von Zellen, unter denen eine Anzahl mit Ölkörpern erfüllt sind (*D*, *o*), andere, farblose, als Anlagen der späteren Rhizoiden dienen. Ölhaltige Zellen treten auch im fertigen Thallus zerstreut auf und sind überhaupt bei Lebermoosen sehr verbreitet. Mit Hilfe der Brutkörperchen kann sich Marchantia in reichlichem Maße vegetativ vermehren.

Die Sexualorgane, Antheridien und Archegonien, werden von besonderen aufstrebenden Zweigen des Thallus getragen. Im unteren Teile sind diese Zweige stielartig zusammengerollt, im oberen Teile verzweigen sie sich reichlich und breiten sich wieder aus. Antheridien und Archegonien treten auf verschiedenen Pflanzen auf, die Art ist somit diöcisch. Die männlichen Zweige schließen mit einer lappig gerandeten Scheibe ab, an deren Oberseite die Antheridien eingesenkt sind, und zwar ein jedes in einen flaschenförmigen Behälter, der mit einer engen Öffnung nach außen mündet (Fig. 352 *B*). Diese Behälter werden von Luftkammern führendem Gewebe getrennt. Gestalt der Antheridien und Spermatozoiden ist aus Fig. 346 ersichtlich.

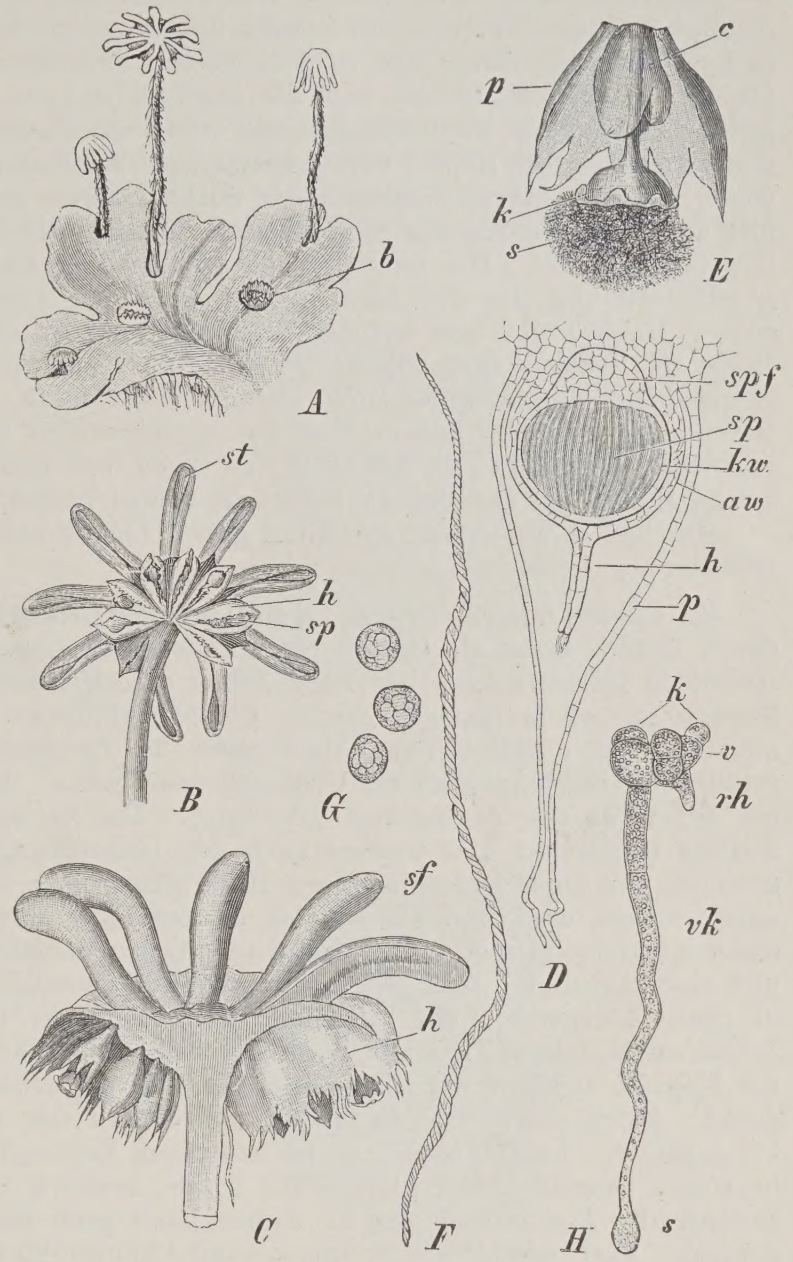


Fig. 353. Marchantia polymorpha. *A* weibliche Pflanze mit vier verschiedenalterigen Archegoniumständen, *b* Brutkörbchen. Nat. Gr. *B* Receptaculum von unten, *st* Strahlen, *h* Hülle, *sp* vortretende Sporogone. Vergr. 3. *C* Receptaculum halb durchschnitten. Vergr. 5. *D* junges Sporogon im Längsschnitt, mit dem Fuß *spf*, dem sporenbildenden Gewebe *sp*, der Kapselwandung *kw*, der Archegoniumwandung *aw*, dem Archegoniumhals *h*, dem Pseudoperianth *p*. Vergr. 70. *E* Aufgesprungenes Sporogon mit Kapsel *k*, Sporen mit Elaterenmasse *s*, Pseudoperianth *p*, Archegoniumwand *c*. Vergr. 10. *F* Elatere. *G* reife Sporen. Vergr. 315. *H* gekeimte Spore *s* mit Vorkeim *vk* und Keimscheibe *k*, letztere mit der Scheitelzelle *v* und dem Rhizoid *rh*. Vergr. 100. *C*, *E* nach Bischoff, *B*, *D*, *F*—*H* nach Kny.

Die weiblichen Zweige (Fig. 353 *A*) schließen mit einem neunstrahligen Schirm ab. Die Oberseite des Schirmes ist zwischen den Strahlen umgeschlagen und trägt an den umgeschlagenen Teilen die Archegonien, welche somit der Unterseite des Schirmes zu entspringen scheinen. Sie bilden dort zwischen den Strahlen radiale Reihen. Jede dieser Reihen wird von einer zierlich gezähnten Lamelle oder Hülle (*B*, *C*, *h*) umgeben. Die Gestalt der Archegonien ist aus Fig. 347 ersichtlich.

Nach der Befruchtung entwickelt sich die Eizelle zu einem vielzelligen Embryo

(Fig. 347 *C*), dieser unter weiterer Teilung und Differenzierung zu einem gestielten ovalen Sporogon. Die Kapsel desselben hat eine einschichtige Wandung, deren Zellen Ringfaserverdickungen aufweisen. Nur am Scheitel ist die Wandung zweischichtig, hier beginnt auch das Einreißen der Kapsel, indem das Deckelstück zerfällt und die Wandung in Form mehrerer Zähne sich zurückkrümmt. Charakteristisch für die Marchantien sowie für die meisten Lebermoose sind die sogen. Elateren oder Schleudern, langgestreckte, mit zwei spiraligen Verdickungsleisten versehene Faserzellen, die zwischen den Sporenmutterzellen in der Kapsel durch Auswachsen bestimmter Zellen entstehen. Die Elateren treten mit den Sporen zusammen als flockige Masse aus der Kapsel hervor und dienen hier zur Auflockerung der Sporenmasse, ähnlich wie das Capillitium der Myxomyceten (Fig. 353 *E*, *F*, *G*). Die reife Kapselfrucht ist vor der Streckung des Stieles noch eingeschlossen von der eine Zeitlang mitwachsenden Archegoniumwandung (*D*, *aw*, *h*), der sogen. Haube, die nun bei der Streckung des Stiels durchbrochen wird und an der Basis als Scheide zurückbleibt (*E*, *c*). Außerdem wird die Kapsel von einer vier- bis fünfspaltigen dünnhäutigen Hülle, dem Pseudoperianth, umgeben, welches schon vor der Befruchtung aus dem kurzen Stiel des Archegoniums ringsum als sackartige Hülle hervorsproßt (Fig. 347 *C*, *pr*, 353 *D*, *E*, *p*). Auch bei den höheren Lebermoosen kommen solche Hüllen vor, werden aber dort als echtes Perianth von Blättern gebildet.

Marchantia war früher als Mittel gegen Leberkrankheiten officinell, daher auch die Bezeichnung Lebermoose.

3. Ordnung. Die Anthocerotaceen umfassen nur wenige Formen, deren Thallus meist die Gestalt einer krausen Scheibe zeigt und auf dem Boden mittels Rhizoiden festgewachsen ist. Seine Zellen enthalten zum Unterschied von allen anderen Moosen nur einen einzigen großen Chlorophyllkörper. Die Antheridien entstehen zu zwei bis vier durch Teilung einer unter der Epidermis liegenden Zelle im Innern geschlossener Höhlungen an der Oberseite des Thallus. Die Decke der Höhlung wird erst bei der Reife der Antheridien gesprengt. Die Archegonien sind in die Oberseite des Thallus eingesenkt und werden nach der Befruchtung durch Wucherung des Thallusgewebes von einer mehrschichtigen Hülle überwölbt, die später von der Kapselfrucht durchbrochen wird und als Scheide an der Basis zurückbleibt. Das Sporogon besitzt einen angeschwollenen, mit rhizoiden-ähnlichen Schläuchen im Thallus befestigten Fuß und eine ungestielte, lange schotenförmige, mit zwei Längsklappen aufspringende Kapsel, in deren Längsachse ein haarfeines Mittelsäulchen, Columella, aus wenigen sterilen Zellreihen bestehend, gebildet wird (Fig. 354). Dieselbe reicht aber nicht bis zur Spitze der Kapsel, sondern wird kappenförmig von der schmalen sporogenen Zellschicht bedeckt. Außer den Sporen finden sich Schleudern vor; sie sind mehrzellig, vielgestaltig, oft gegabelt. Im Gegensatz zu allen übrigen Lebermoosen reift dieses Sporogon nicht in seiner ganzen Länge gleichzeitig heran, sondern von der Spitze ausgehend unter andauernder Fortentwicklung an seiner Basis nach dem Heraustreten aus dem Archegonium. Auch enthält die Sporogonwand Chlorophyll und besitzt Spaltöffnungen.

An der Unterseite des Thallus der Anthocerotaceen werden durch Auseinanderweichen angrenzender Zellen Spalten erzeugt, die in Höhlungen führen, welche Schleim enthalten. In diese dringen häufig Nostocfäden ein, um sich dort zu endophytischen Kolonien zu entwickeln.

4. Ordnung. Die Jungermanniaceen weisen in ihren einfacheren Formen einen breitlappigen Thallus wie Marchantia auf, z. B. die auf feuchtem Erdboden häufige *Pellia epiphylla*, oder einen schmal bandförmig dichotom verzweigten, ähnlich wie Riccia fluitans, so die an Baumstämmen oder Felsen lebende *Metzgeria furcata* (vgl. Fig. 162). Sodann gibt es Formen, deren breitlappiger mit Mittelrippe versehener Thallus bereits eine schwache Ausbildung von blattähnlichen Gliedern am Rande aufweist, so die erdbewohnende *Blasia pusilla* (Fig. 355). Die Mehrzahl aber besitzt eine deutliche Gliederung in einen Stengel und einschichtige Blättchen ohne Mittelnerv welche in zwei Zeilen an den Flanken des Stengels mit schiefer Stellung ihrer Spreite angeordnet sind. Bei gewissen Gattungen tritt zu diesen zwei Zeilen Rückenblätter auch noch eine bauchständige Reihe von kleineren und anders beschaffenen Blättchen, Amphigastrien oder Bauchblätter, hinzu, so bei *Frullania Tamarisci* (Fig. 357), einem zierlich verzweigten, an Felsen und Baumstämmen häufigen Lebermoos von bräunlicher Farbe. Die Rückenblätter gliedern sich häufig in einen Oberlappen und einen Unter-

lappen. Der letztere erscheint bei gewissen, trockene Standorte bewohnenden Arten sackartig ausgebildet und dient als capillarer Wasserbehälter, so bei Frullania Tamarisci. Die Rückenblätter sind entweder oberschlächtig, wenn der Hinterrand eines Blattes von dem Vorderrand des nächstunteren überdeckt wird (Fig. 357 *Frullania*), oder unterschlächtig, wenn der Hinterrand eines Blattes über dem Vorderrand des nächstunteren liegt (Fig. 356).

Der sich verzweigende Stengel der beblätterten Jungermanniaceen ist niederliegend oder aufstrebend und infolge seiner Beblätterung ausgesprochen dorsiventral beschaffen.

Charakteristisch für die Jungermanniaceen ist die langgestielte Sporenkapsel. Das Sporogon ist schon fertig ausgebildet, ehe es bei der Streckung des Stiels die Archegoniumwand durchbricht und als häutige Scheide an seinem Grunde zurückläßt, es weist eine kugelige, meist in vier Klappen aufspringende Kapsel (Fig. 355, 356) auf, bildet keine Columella aus und erzeugt stets neben den Sporen auch Elateren, die hier in den meisten Fällen durch ihre Bewegungen beim Austrocknen die Sporen wegschleudern. Der Kapselstiel ist stets zart und weich. Die selten ein-, meist zwei- bis vielschichtigen Kapselwandzellen sind mit ringförmigen oder leistenartigen Verdickungen versehen oder gleichmäßig verdickt bis auf die dünnen Außenwände. Das Aufspringen erfolgt durch die Kohäsion des schwindenden Füllwassers unter Einbiegung der dünnen Außenwände.

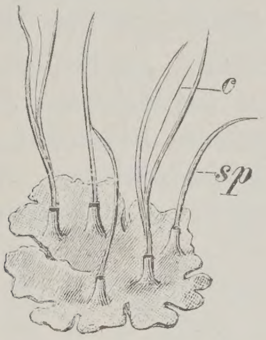


Fig. 354. Anthoceros laevis. *sp* Sporogon, *c* Columella. Nat. Gr.

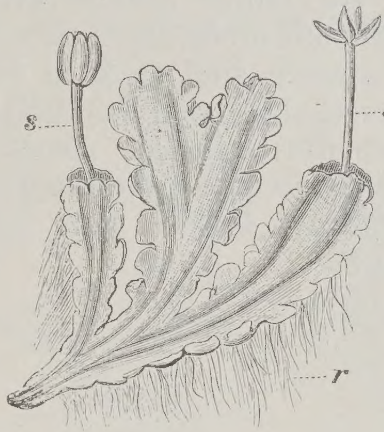


Fig. 355. Blasia pusilla. *s* Sporogon, *r* Rhizoiden. Vergr. 2.

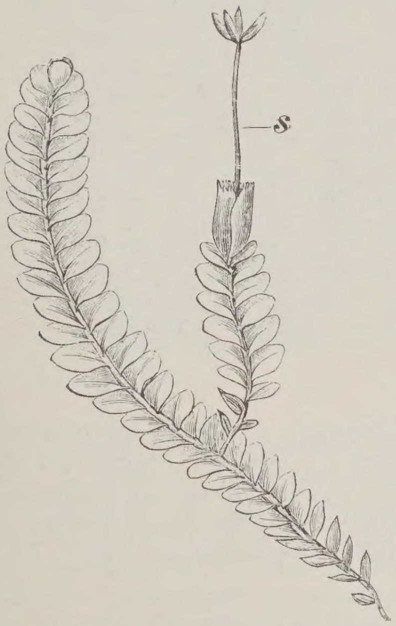


Fig. 356. Plagiochila asplenioides. *s* Sporogon. Nat. Gr.

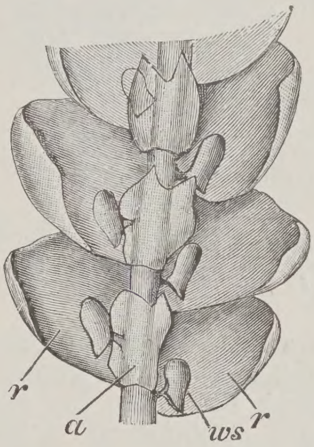


Fig. 357. Frullania Tamarisci, von unten, *r* Rückenblatt, *ws* als Wassersack ausgebildeter Unterlappen des Rückenblattes, *a* Amphigastrien. Vergr. 36.

Die Sporogone stehen entweder auf der Oberseite des Thallus oder des Stämmchens und werden an ihrer Basis von einem scheidenähnlichen Auswuchs des Thallus oder des Stengels, einem sogen. Involucrum, umgeben (Fig. 355), oder aber die Archegonien bezw. Sporogone gehen aus dem Scheitel des Stengels oder seiner Äste hervor, sind

gipfelständig und werden von einem aus besonders gestalteten Blättern gebildeten Perianth umhüllt (Fig. 356). Die meisten Jungermanniaceen sind kleine, auf Erde oder an Baumstämmen, in den Tropen auch auf den Blättern von Waldpflanzen lebende Moose.

Klasse II.

Musci, Laubmoose (63).

Das reich verzweigte Protonema der Laubmoose erscheint dem bloßen Auge als ein feiner grüner Filz (Fig. 348). An demselben entstehen die Knospen, die mit dreiseitigen Scheitelzellen wachsen und die Moospflänzchen bilden. Letztere sind stets in Stengel und Blätter gegliedert. Die Laubmoose unterscheiden sich habituell leicht von den beblätterten Jungermanniaceen durch die spiralige Anordnung der kleinen Blättchen. Nur selten findet sich zweizeilige Anordnung. Bei solchen Laubmoosen, welche niederliegende Stengel haben, sind die Blättchen häufig einseitswendig oder ge-

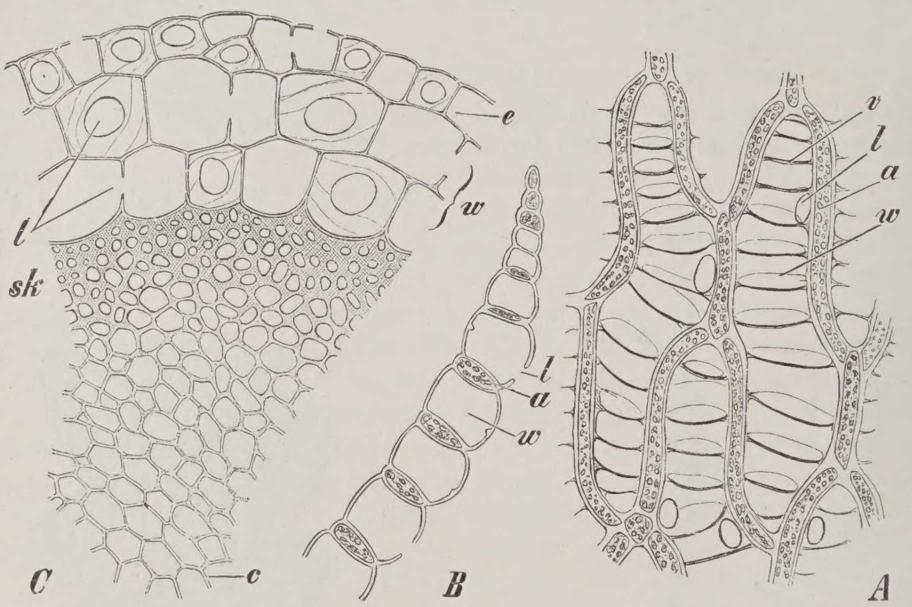


Fig. 358. *A* aus dem Blatt von Sphagnum cymbifolium, *a* chlorophyllhaltige Zellen, *w* Wasserzellen mit Verdickungsleisten *v* und Löchern *l*, von der Fläche. Vergr. 300. *B* Querschnitt durch das Blatt von Sph. fimbriatum. *C* Teil eines Querschnitts durch den Stengel von Sph. cymbifolium, *c* Mitte, *sk* sklerenchymatische Rindenzellen, *w* Wasserzellen mit Löchern und Verdickungsleisten, *e* Epidermis. Vergr. 120.

scheitelt bei spiraliger Anordnung, so daß auf diese Weise auch ein Gegensatz von Oberseite und Unterseite, aber in anderer Weise als bei den Lebermoosen zu stande kommt.

Der Moosstengel wird von Zellen aufgebaut, die nach der Oberfläche zu enger und dickwandiger werden. Bei verschiedenen Gattungen, z. B. bei *Mnium* (Fig. 160) findet sich in der Achse des Stengels ein centrales Leitbündel aus englumigen langgestreckten Zellen vor. Diese Leitbündel stehen noch nicht auf derselben Stufe der Differenzierung wie die Gefäßbündel der Farnpflanzen (vgl. S. 91). Sie fehlen z. B. den *Sphagnaceen* oder Torfmoosen, welche an sumpfigen Standorten leben. Der Stengel derselben zeigt eine eigentümliche Ausbildung der peripherischen Zellschichten, deren Zellen plasmaleer sind, mit großen offenen Poren untereinander und mit der Atmosphäre in Verbindung stehen und spiralige Verdickungsleisten als Aussteifungen auf ihrer Wandung besitzen. Sie saugen Wasser mit Leichtigkeit auf und dienen als capillare Wasserbehälter und Leiter (Fig. 358).

Die Blätter der Laubmoose sind in der Regel sehr einfach gebaut, bestehen meist

nur aus einer Schicht von polygonalen chlorophyllführenden Zellen (Fig. 63 und Fig. 99 *Funaria*) und werden in der Regel in der Mediane von einem Leitbündel langgestreckter Zellen durchzogen. Den Torfmoosblättern geht letzteres ab, dagegen sind dieselben eigenartig differenziert, indem in der einschichtigen Blattfläche ähnliche plasmaleere wasserspeichernde Zellen auftreten wie an der Stengelperipherie. Diese sind hier groß und langgestreckt, mit queren Verdickungsleisten und offenen Poren versehen (Fig. 358 *A* und *B*). Zwischen ihnen verlaufen die langgestreckten chlorophyllhaltigen Zellen in Form eines zusammenhängenden Netzes. Außer den Torfmoosen zeigen auch noch einige Laubmoose eine ähnliche Differenzierung der Blattzellen (*Leucobryum vulgare* z. B.).

Komplizierteren Blattbau, welcher sich als Anpassung an die Wasseraufnahme darstellt, besitzt unter den Laubmoosen *Polytrichum commune*, der gemeine Widerton, u. A., dessen mehrschichtige Blätter auf der Innenseite zahlreiche einschichtige dicht-

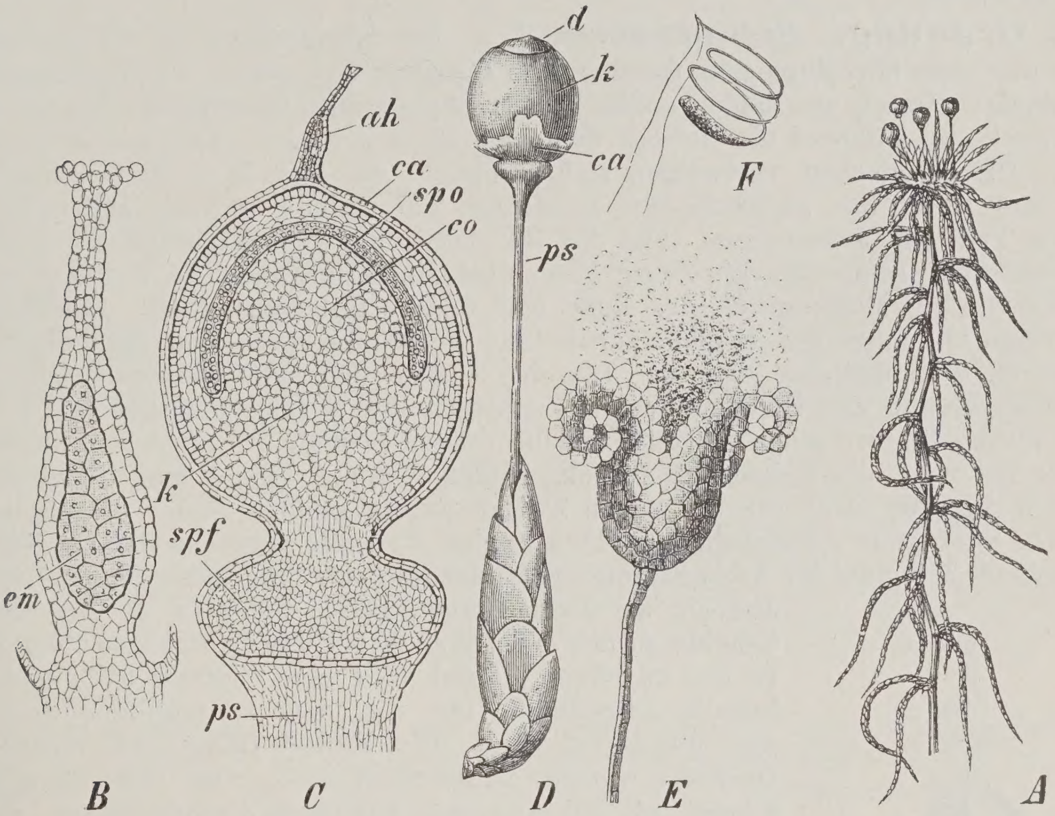


Fig. 359. Sphagnum fimbriatum *A* mit vier reifen Sporogonen. Nat. Gr. — Sphagnum acutifolium. *B* Archegonium mit dem mehrzelligen Embryo des Sporogons *em*. *C* junges Sporogon im Längsschnitt, *ps* Pseudopodium, *ca* Archegoniumwand oder Kalyptra, *ah* Archegoniumhals, *spf* Sporogonfuß, *k* Kapsel, *co* Columella, *spo* Sporensack mit Sporen. *E* geöffnetes Antheridium mit den entleerten Spermatozoiden. *F* einzelnes Spermatozoid stark vergrößert. — Sphagnum squarrosum. *D* reifes Sporogon am Ende eines kleinen Zweiges, *ca* durchrissene Kalyptra, *d* Deckel. Vergr. — (Nach W. P. Schimper.)

stehende Längslamellen aus chlorophyllhaltigen Zellen entwickeln, welche das assimilierende Gewebe vorstellen und in den Zwischenräumen Wasser leiten und speichern. Bei Trockenheit faltet sich das Blatt rinnig zusammen und bringt die zarten Lamellen dadurch in eine vor übermäßiger Transpiration geschützte Lage.

Am Grunde des Stengels entspringen die mehrzelligen verzweigten Wurzelhaare oder Rhizoiden (Fig. 365), welche ganz ähnlichen Aufbau aufweisen wie das Protonema und auch gelegentlich zu solchem auswachsen und neue Moospflänzchen in derselben Weise wie dieses erzeugen können.

Die Sexualorgane sitzen bei den Laubmoosen stets gruppenweise beisammen an der Spitze der Hauptachsen oder am Ende kleiner Seitenzweiglein, umgeben von den obersten Blättern. Man bezeichnet diese Antheridium- und Archegoniumstände in nicht zutreffender Weise als Moosblüten, und nennt die oft besonders ausgestalteten Hüllblättchen Perichaetium

(Fig. 365). Zwischen den Sexualorganen stehen gewöhnlich eine Anzahl von mehrzelligen Safthaaren oder Paraphysen. Die Stände sind entweder zwitterig oder einhäusig oder zweihäusig.

Das Sporogon der Laubmoose weist in seiner Kapsel ein centrales Säulchen oder Columella aus sterilem Gewebe auf, in deren Umkreis der Sporensack mit den Sporen liegt (Fig. 366). Die Columella fungiert als Nährstoff- und Wasserspeicher für die sich bildenden Sporen. Elateren werden nie gebildet. Im einzelnen weist die Gestaltung des Laubmoossporogons bei den vier Ordnungen der Laubmoose, nämlich den *Sphagnaceen*, den *Andreaeaceen*, den *Phascaceen* und den *Bryinen* mancherlei Verschiedenheiten auf. Am nächsten stehen den Lebermoosen die *Sphagnaceen* und *Andreaeaceen*.

1. Ordnung. Sphagnaceae (64). Die Sphagnaceen oder Torfmoose enthalten nur eine, allerdings sehr formenreiche Gattung, *Sphagnum*. Die Torfmoose leben an sumpfigen Orten, und bilden große Polster, die an ihrer Oberfläche von Jahr zu Jahr weiterwachsen, während die tieferen Schichten absterben und schließlich in Torf übergehen. Die Stämmchen verzweigen sich reichlich, ein Teil ihrer Zweige wächst aufwärts und bildet das gipfelständige Köpfchen, ein anderer abwärts und umhüllt den unteren Teil des Stämmchens (Fig. 359 *A*). Diese abwärts wachsenden Zweige sind peitschenförmig gestreckt. Ein Zweig unter dem Gipfel entwickelt sich alljährlich ebenso stark wie der Muttersproß, der damit eine falsche Gabelung erhält. Indem nun die Stämmchen von unten her allmählich absterben, werden die successive erzeugten Tochtersprosse zu selbständigen Pflanzen. Einzelne Zweige des Köpfchens fallen durch ihre besondere Gestalt und Färbung auf; sie erzeugen die Geschlechtsorgane. Die männlichen Zweige tragen neben den Blättern die runden gestielten Antheridien, welche sich bei der Reife an der Spitze mit zurückgerollten Klappen öffnen und die Samenfäden entlassen (Fig. 359 *E*, *F*), die weiblichen Zweige weisen an ihrer Spitze die Archegonien auf. Die Sporogone entwickeln nur einen kurzen Stiel mit angeschwollenem Fuß (*B*, *C*), sind längere Zeit von der Archegoniumwand oder Kalyptra eingeschlossen und sprengen dieselbe an deren Spitze, lassen sie also an ihrer Basis als Scheide zurück, wie es auch bei den Lebermoosen der Fall ist. In der kugeligen Kapsel wird eine centrale halbkugelige Columella ausgebildet, die von dem sporenbildenden Gewebe (*spo*) überlagert wird. Die Kapsel öffnet sich mittels eines Deckels, welcher abgeworfen wird. Das reife Sporogon erscheint wie bei Andreaea auf einem Pseudopodium, der Verlängerung des Zweiges, emporgehoben und ist mit dem Fuß in das angeschwollene obere Ende desselben eingesenkt. Auf den eigentümlichen Bau der Blätter und der Stengelrinde ist bereits oben hingewiesen. Eigenartig sind die Vorkeime der Torfmoose gestaltet. Die Sporen keimen zunächst zu kurzen Fäden aus, welche sich zu flächenförmigen Vorkeimen, auf denen die Stammknospen entstehen, erbreitern.

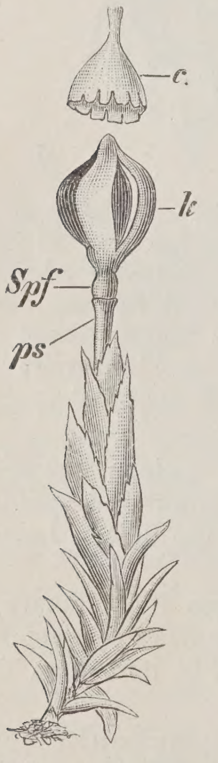


Fig. 360. Andreaea petrophila. *ps* Pseudopodium, *Spf* Sporogonfuß, *k* Kapsel, *c* Kalyptra. Vergr. 12.

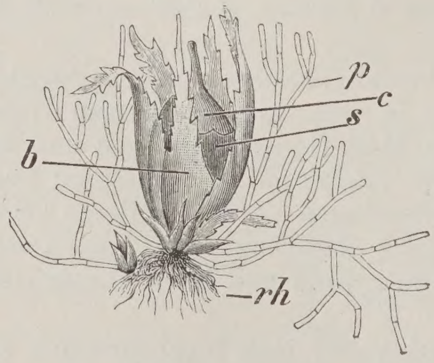


Fig. 361. Ephemerum serratum. *p* Protonema, *b* Laubblatt, *s* Sporogon, *c* Kalyptra, *rh* Rhizoiden. Vergr. 200. (Nach W. P. Schimper.)

2. Ordnung. Andreaeaceae. Die Andreaeaceen oder spaltfrüchtigen Laubmoose (Schizocarpae) werden von der Gattung *Andreaea* gebildet, deren Arten kleine bräunliche Moospolster an Felsen vorstellen. Die Sporogone stehen an der Spitze des Stengels; ihre von einer mützenförmigen, aus der Wandung und dem Hals des Arche-

goniums hervorgegangenen Kalyptra anfangs bedeckte Kapsel öffnet sich in eigentümlicher Weise mittels vier an der Spitze und Basis verbundenen Klappen (Fig. 360) und besitzt nur einen kurzen Stiel mit einem basalen erweiterten Fuß *Spf*, welcher an dem oberen Ende einer nach der Befruchtung der Archegonien sich emporstreckenden stielförmigen Verlängerung der Stengelspitze, dem Pseudopodium (*ps*), eingesenkt ist.

3. Ordnung. Phascaceae. Die Phascaceen oder schließfrüchtigen Laubmoose (auch Cleistocarpae genannt) umfassen winzige wenigbeblätterte erdbewohnende Formen, an denen der fädige Vorkeim bis zur Kapselreife erhalten bleibt (Fig. 361). Die mit der Haube bedeckte entständige Kapsel ist nur kurzgestielt und öffnet sich nicht mittels eines Deckels, sondern die Sporen werden durch Verwesung der Kapselwand frei. Die Phascaceen stellen sehr einfach gebaute Laubmoose dar.

4. Ordnung. Bryinae (65). Bei den Bryinen oder deckelfrüchtigen Laubmoosen (auch Stegocarpae genannt), zu denen die überwiegende Mehrzahl der zahlreichen Gattungen und Arten gehört, erreicht die Moosfrucht ihre komplizierteste Ausbildung. Das reife, nach der Befruchtung aus der Eizelle hervorgegangene Sporogon besteht aus einem langen Stiel, der Seta (Fig. 362 *s*), die am Grunde mit ihrem Fuß in das Gewebe der Mutterpflanze eingesenkt ist, und aus der Kapsel, die im jugendlichen Zu-

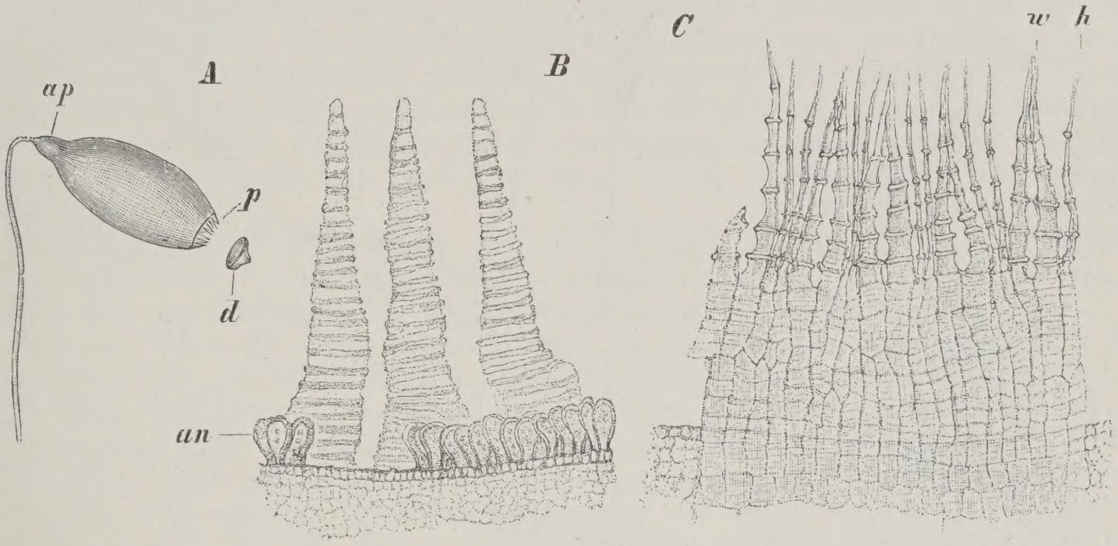


Fig. 368. Mnium hornum. *A* Kapsel mit einem Stücke der Seta, *ap* Apophyse, *p* Peristom, *d* abgesprengter Deckel. *B* drei Zähne des äußeren Peristoms von außen gesehen, *an* Ring. *C* Inneres Peristom, *w* die breiteren, *h* die schmäleren Wimpern, von innen gesehen, *A* Vergr. ca. 4. *B*, *C* Vergr. 60.

stand von der Haube oder Kalyptra bedeckt wird. Die Kalyptra wird vor der Sporenreife abgeworfen, sie besteht aus einer bis zwei Schichten gestreckter Zellen und geht hervor aus der den Embryo umschließenden und anfangs mitwachsenden Archegoniumwandung, welche bald an der Basis abgesprengt und bei der Streckung der Seta von der Kapsel mit emporgehoben wird, während bei den Lebermoosen die Haube stets an der Spitze von dem sich streckenden Sporogon durchgerissen wird, also an der Basis als Scheide zurückbleibt. Der oberste Teil der Seta unter der Kapsel wird als Apophyse bezeichnet. Sie ist bei *Mnium* klein und nur durch eine ganz schwache Einschnürung von der Kapsel abgesetzt (Fig. 368 *A ap*), dagegen bei *Polytrichum commune* in Form eines Ringwulstes (Fig. 362 *ap*) und am auffälligsten, als rot oder gelb gefärbter Kragen, bei den nordischen *Splachnum*-Arten entwickelt. Der obere Teil der Kapselwandung ist in Form eines Deckels mit oder ohne schnabelartige Spitze ausgebildet. Unterhalb des Deckelrandes ist eine schmale Zone der Kapselwandungszellen als sogen. Ring differenziert. Der Ring, dessen Zellen aufquellenden Schleim führen, vermittelt das Absprengen des Deckels bei der Reife. Am Rande der Kapselöffnung, zunächst von dem Deckel bedeckt, befindet sich bei den meisten stegocarpen Laubmoosen ein in der Regel von Zähnen gebildeter Mundbesatz, das Peristom, das bei den übrigen Moosen fehlt.

Bei *Mnium hornum* (Fig. 368) ist das Peristom doppelt, das äußere besteht aus

Fig. 365. Mnium undulatum. Orthotroper Sproß mit endständigem, von Hüllblättchen umgebenem Antheridiumstand. Seitensprosse plagiotrop. (Nach GÖBEL.)

Fig. 363. Schistostega osmundacea. *A* sterile, *B* fertile Pflanze. Vergr. 5.

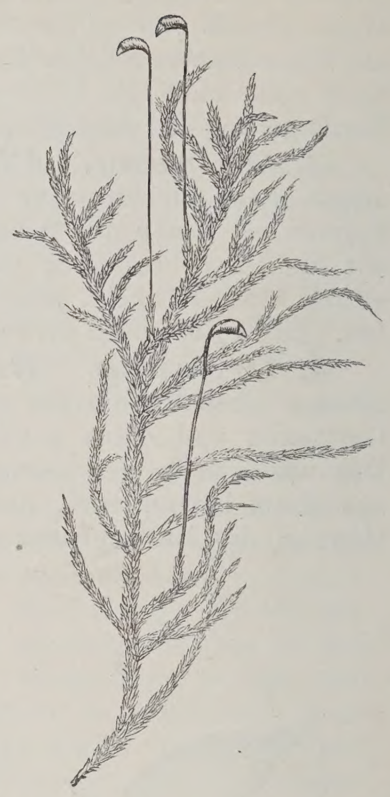


Fig. 364. Hypnum purum. Nat. Gr.

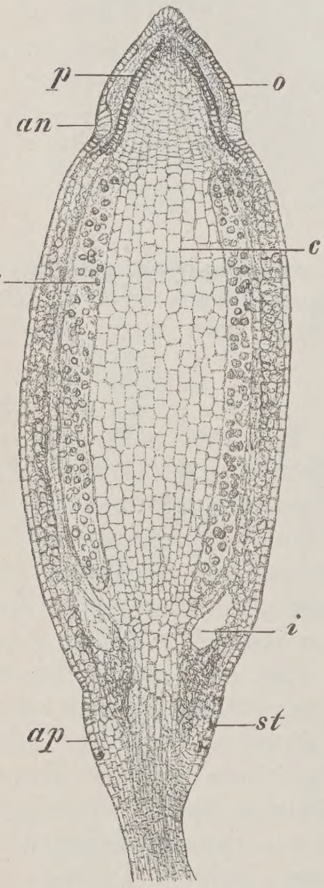


Fig. 366. Mnium hornum. Medianer Längsschnitt durch ein halbreifes Sporogon. *o* Deckel, *p* Peristom, *c* Columella, *s* Sporensack mit Sporen, *i* ringförmiger Hohlraum, *ap* Apophyse, *st* Spaltöffnung. Vgr. 18.

Fig. 362. Polytrichum commune. *rh* Rhizoiden, *s* Seta, *c* Kalyptra, *ap* Apophyse, *d* Deckel. Nat. Gr.

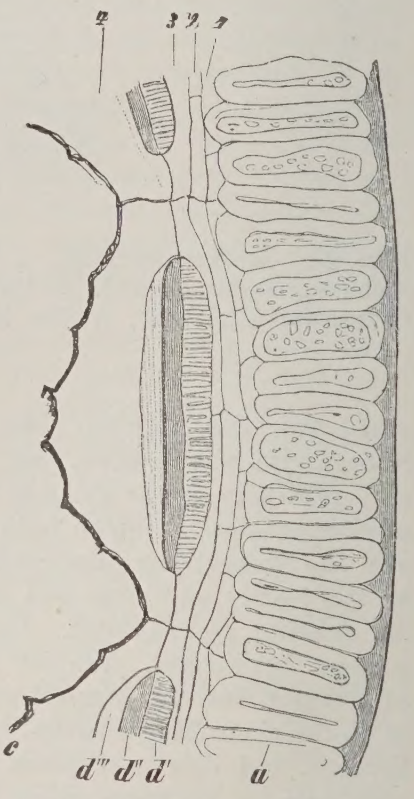


Fig. 367. Mnium hornum. Querschnitt durch den Kapselrand. *a* Zellen des Ringes, *1—4* aufeinanderfolgende Zellschichten, *d'* die in der dritten, *d''* die in der vierten Zellschicht entstandene Verdickungsmasse der Zähne. *d'''* vorspringende Querleisten, *c* verschmolzene Wimpern. Vergr. 240.

16, am Innenrande der Kapselwandung inserierten, keilförmig zugespitzten und quergestreiften Zähnen. Das innere Peristom liegt dem äußeren dicht an und besteht aus flachen wimperartigen Lamellen und Wimperfäden, die mit Leisten an der Innenfläche besetzt und daher quergestreift erscheinen, in ihrem unteren Teile aber zu einer kontinuierlichen Membran verschmolzen sind. Zwischen zwei äußeren Peristomzähnen stehen jedesmal zwei Wimpern des inneren Peristoms. Die Wimpern vermitteln hier durch ihre hygroskopischen Bewegungen das Wegschleudern der Sporen.

Verfolgt man die Entwicklungsgeschichte dieses Peristoms, so ergibt sich, daß die Zähne und Wimpern aus einer der an die Innenseite des Deckels anschließenden Zellschichten durch stellenweise Verdickung der gegenüberstehenden Wände angelegt werden (Fig. 367) und zwar die Zähne aus den Außenwänden, die Wimpern aus den inneren Wänden dieser Zellschicht. Die Querleisten entsprechen den Ansatzstellen der Querwände. Bei dem Öffnen der Kapsel trennen sich die Zähne und Wimpern in den dünnbleibenden Wandungsstellen.

In der Ausgestaltung des Peristoms herrscht bei den Bryinen eine große Mannigfaltigkeit. Durch seine Form und seine hygroskopischen Bewegungen bewirkt es ein allmähliches Ausstreuen der Sporen aus der Kapsel.

Die Mitte der Kapsel wird der Länge nach von der großzelligen Columella durchzogen (Fig. 366). Das sporenbildende Gewebe, der sogen. Sporensack, umgibt dieselbe mantelförmig. Von der Kapselwandung und vielfach auch der Columella trennt ihn ein lockeres chlorophyllhaltiges Gewebe. Die Epidermis der Apophyse führt Spaltöffnungen. Entsprechend ihrer anatomischen Struktur beteiligt sich die junge Moosfrucht auch an der Assimilation. Sie reift außerhalb des Archegoniums langsam heran, während bei fast allen Lebermoosen das Sporogon bis zur Reife in dem Archegonium eingeschlossen bleibt.

Gestalt der Kapsel, des Peristoms, des Deckels und der Haube geben die wichtigsten Gattungsunterschiede ab. Die Bryinen zerfallen zunächst in zwei große Unterordnungen nach der Stellung der Archegonien beziehungsweise der Kapseln:

a) Bei den *Bryinae acrocarpae* stehen die Archegonien und somit auch die Sporogone am Ende des Hauptstengels. Von häufigeren Arten gehören hierher *Mnium undulatum* (Fig. 365) und *hornum, Polytrichum commune* (Fig. 362), *Funaria hygrometrica.* Eine sehr eigentümliche Ausbildung des Protonema treffen wir bei dem in Erdlöchern oder in Höhlen lebenden Leuchtmoos *Schistostega osmundacea.* Die fertilen Sprosse dieses Mooses sind spiralig beblättert und tragen auf langer Seta eine peristomlose Kapsel, die sterilen Sprosse dagegen sind zweizeilig beblättert (Fig. 363 *A*, *B*). Der Vorkeim allein leuchtet mit smaragdgrünem Licht. (Vgl. Fig. 168, Fig. 210.)

b) Bei den *Bryinae pleurocarpae* wachsen die Hauptachsen unbegrenzt weiter und die Archegonien bezw. Sporogone stehen auf besonderen, ganz kurzen Seitenzweigen (Fig. 364). Hierher gehören zahlreiche, meist reich verzweigte, Rasen oder Polster bildende Arten, darunter unsere größten Waldmoose, die den Gattungen *Hylocomium*, *Neckera* und *Hypnum* entstammen, ferner auch die in den Bächen und Flüssen submers flutende *Fontinalis antipyretica.*

III.

Pteridophyta, Farnpflanzen (61, 66).

Die Pteridophyten umfassen die Farne, Wasserfarne, Schachtelhalme und Bärlappgewächse und stellen die höchstentwickelten Kryptogamen vor. Wie bei den Bryophyten vollzieht sich auch hier der Entwicklungsgang in zwei scharf geschiedenen Generationen. Die erste Generation ist die geschlechtliche, sie trägt Antheridien und Archegonien, die zweite ist die ungeschlechtliche, sie geht aus der befruchteten Eizelle hervor und erzeugt ungeschlechtliche einzellige Sporen. Aus der Keimung der letzteren entsteht wieder die geschlechtliche Generation.

Die geschlechtliche Generation wird als Prothallium (auch als Gametophyt) bezeichnet, sie erreicht keine bedeutende Größe, bei einzelnen Formen höchstens einige Centimenter im Durchmesser und gleicht dann in ihrem Aufbau einem einfachen thallösen Lebermoos, d. h. sie besteht aus einem kleinen grünen blattartigen, auf der Unterseite mit Rhizoiden am Boden befestigten Thallus (Fig. 369 *A*). In einigen Fällen ist das Prothallium verzweigt fadenförmig ausgebildet, in anderen Fällen halb oder ganz unterirdisch in Form von knollenförmigen, ungefärbten Gewebekörpern mit saprophytischer Lebensweise; in gewissen Abteilungen der Pteridophyten endlich erleidet es eine Reduktion und bleibt in der Spore mehr oder weniger eingeschlossen. An dem Prothallium entstehen die Geschlechtsorgane, Antheridien (Fig. 378) mit zahlreichen, meist schraubig gewundenen Spermatozoiden, welche entweder zahlreiche oder nur zwei Cilien tragen und Archegonien (Fig. 379) mit je einer Eizelle. Die Befruchtung ist wie bei den Moosen nur in Wasser, also bei Benetzung der Prothallien möglich.

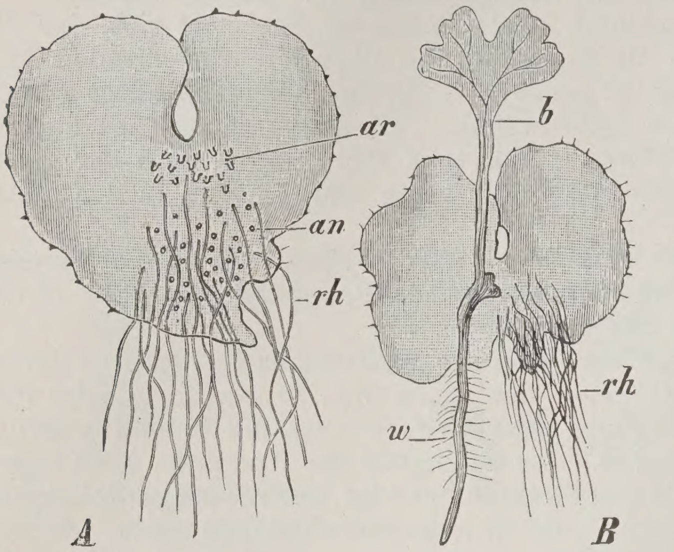


Fig. 369. Aspidium filix mas. *A* Prothallium von der Unterseite mit Archegonien *ar*, Antheridien *an*, Wurzelhaaren *rh*. *B* Prothallium mit jungem, aus einer befruchteten Eizelle entstandenem Farnpflänzchen, *b* erstes Blatt, *w* Wurzel desselben. Vergr. ca. 8.

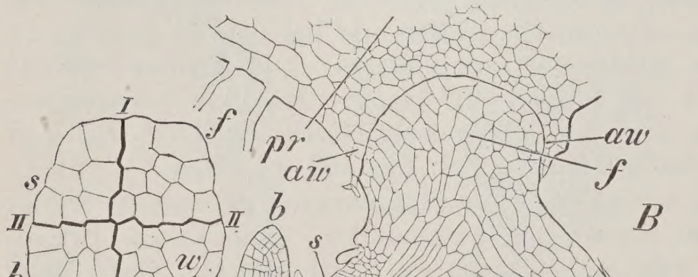


Fig. 370. *A* Pteris serrulata. Aus dem Archegonium befreiter Embryo im Längsschnitt. *I* Basalwand, *II* senkrecht zu dieser stehende Quadrantenwand, *f* Anlage des Fußes, *s* des Stammscheitels, *b* des ersten Blattes, *w* der Wurzel. (Nach Kienitz-Gerloff.) *B* Pteris aquilina. Weiterentwickelter Embryo, mit dem Fuß *f* noch im erweiterten Archegoniumbauch *aw*, steckend, *pr* Prothallium. Vergr. (Nach Hofmeister.)

Nach der Befruchtung entwickelt sich aus der Eizelle wie bei den Bryophyten zunächst ein mehrzelliger Embryo, welcher zur ungeschlechtlichen Generation heranwächst. Bryophyten und Pteridophyten werden daher von Engler als Embryophyta bezeichnet, und zwar als Embryophyta zoidiogama, weil die männlichen Zellen als Spermatozoiden ausgebildet sind.

Die ungeschlechtliche Generation, die auch als Sporophyt bezeichnet wird, ist bei den Pteridophyten eine in der äußeren Gliederung und inneren Struktur hochdifferenzierte Pflanze mit Stengel, Blättern und Wurzeln. Bei der Mehrzahl der Pteridophyten, so bei den Farnen und Schachtelhalmen, teilt sich die befruchtete Eizelle, nachdem sie sich mit einer Cellulosemembran umgeben hat, im Archegonium zunächst durch eine Quer- oder Basalwand in zwei Zellen und dann durch zwei zu dieser senk-

recht stehende Wände in Oktanten. Unter weiterer Teilung dieser acht Zellen entsteht ein Gewebekörper, an welchem der Stammscheitel, das erste Blatt, die erste Wurzel und neben dieser ein der Keimpflanze der Pteridophyten eigentümliches Organ, der sogen. Fuß angelegt werden (Fig. 370 *f*). Der Fuß ist ein höckerartig vorspringender Gewebekörper, durch welchen die junge Keimpflanze mit dem anfangs mitwachsenden, sich erweiternden Archegoniumbauch in Verbindung bleibt; er sorgt als Saugorgan für ihre Ernährung, bis die Wurzel in den Boden gedrungen ist, die ersten Blätter sich entfaltet haben und die Keimpflanze somit selbständig sich ernähren kann. Das Prothallium geht dann in der Regel bald zu Grunde. Aus dem Stammscheitel des Embryo entwickelt sich ein einfacher oder sich gabelig, ohne Beziehung zu den Blättern verzweigender aufrechter oder niederliegender Stamm, welcher in spiraliger, quirliger oder dorsiventraler Anordnung die Blätter erzeugt. Statt Rhizoiden, wie bei Moosen, werden echte, aus Geweben aufgebaute Wurzeln, wie wir sie auch bei den Phanerogamen vorfinden,

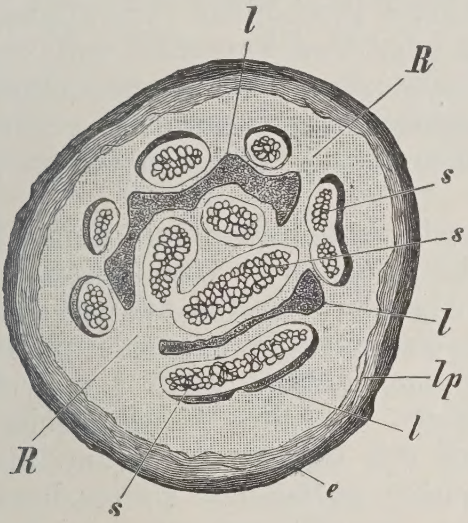


Fig. 371. Querschnitt durch das Rhizom von Pteris aquilina. *s* koncentrische Gefäßbündel, *l* Sklerenchymplatten, *lp* peripherischer Sklerenchymfaserring, *R* Rinde, *e* Epidermis. Vergr. 7.

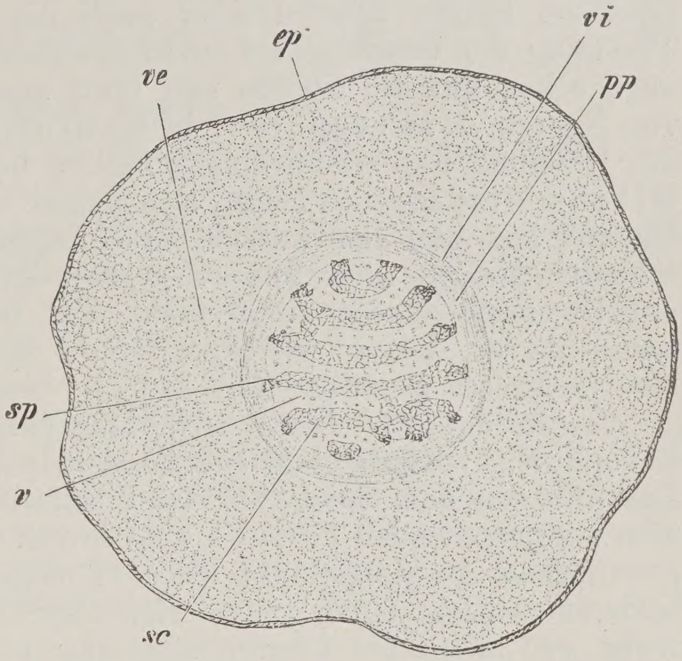


Fig. 372. Querschnitt durch den Stengel von Lycopodium complanatum. *ep* Epidermis, *ve*, *vi* und *pp*, äußere, innere und innerste Partie der primären Rinde. Diese umgibt den von verschmolzenen koncentrischen Gefäßbündeln gebildeten centralen Gefäßbündelcylinder, in welchem *sc* Treppentracheïden, *sp* Ring- und Schraubentracheïden, *v* Siebteile sind. Vergr. 26.

erzeugt (vgl. Fig. 166). Auch die Blätter stimmen im wesentlichen in ihrer Struktur mit denen der Phanerogamen überein. Stämme, Wurzeln und Blätter werden von wohldifferenzierten Gefäßbündeln durchzogen und daher bezeichnet man die Pteridophyten auch als Gefäßkryptogamen. Die Gefäßbündel der Pteridophyten sind überwiegend nach dem koncentrischen Typus gebaut (vgl. Fig. 124, 371, 372). Sekundäres Dickenwachstum durch Cambiumtätigkeit kommt bei den jetzt lebenden Familien nur ganz vereinzelt vor, zeichnete aber die Stämme von gewissen fossilen Pteridophytengruppen aus.

An den Blättern, in einzelnen Fällen an den Stengeln in den Blattachseln, werden an der ungeschlechtlichen Generation auf ungeschlechtlichem Wege die Sporen erzeugt und zwar in besonderen Behältern oder Sporangien. Die sporangientragenden Blätter heißen Sporophylle. Die Sporangien um-

schließen mit einer mehrschichtigen Wandung das sporogene Gewebe, dessen Zellen sich abrunden, voneinander loslösen und als Sporenmutterzellen je vier tetraëdrische Sporen (Sporentetraden) erzeugen. Die innerste Schicht der Wandung besteht aus plasmareichen Zellen, sogen. Tapetenzellen, die im Laufe der Sporangiumausbildung bei den Lycopodineen erhalten bleiben, bei Farnen und Schachtelhalmen aber ihre Selbständigkeit aufgeben, ihre Membranen auflösen und zwischen die Sporenmutterzellen einwandern, so daß die Sporen in eine schleimige, sie ernährende Plasmamasse, das Periplasma, eingebettet erscheinen. In den reifen Sporangien ist dann nur die äußere Schicht der Wandung erhalten. Die einzelligen Sporen besitzen eine aus mehreren Häuten bestehende Wandung.

Bei der Mehrzahl der Pteridophyten sind die Sporen unter sich alle von gleicher Beschaffenheit und bei der Keimung geht aus ihnen ein Prothallium hervor, an welchem zugleich Antheridien und Archegonien entstehen. In gewissen Fällen können aber auch die Prothallien diöcisch sein. Diese Trennung der Geschlechter erstreckt sich bei einigen Pteridophytengruppen auch schon auf die Sporen und führt zur Ausbildung von zweierlei Formen von Sporen, Makrosporen, in Makrosporangien erzeugt, aus denen bei der Keimung nur weibliche Prothallien hervorgehen, und Mikrosporen, in Mikrosporangien erzeugt, aus denen männliche Prothallien hervorgehen. Danach hat man also zwischen gleichsporigen oder homosporen und verschiedensporigen oder heterosporen Gefäßkryptogamen zu unterscheiden, ein Unterschied, der aber nicht zur Gesamteinteilung verwertet werden kann, da er sich in gleichem Grade in systematisch getrennten Gruppen, also mehrmals herausgebildet hat.

Vergleichen wir den Entwicklungsgang der Pteridophyten mit dem der Bryophyten, so entspricht die ungeschlechtliche kormophyte Generation der Farnpflanzen dem Sporogon, das Prothallium dagegen der Moospflanze samt dem vorausgehenden Protonema. Obwohl beide Gruppen gemeinsamen phylogenetischen Ausgangspunkt besitzen mögen, haben sie sich nach ganz verschiedenen Richtungen gesondert weiterentwickelt. Auf ihre Verwandtschaft weist vor allem die Übereinstimmung im Bau der Geschlechtsorgane hin, während dagegen die ungeschlechtliche Generation auffallende Unterschiede darbietet, so daß es nicht statthaft erscheint, die Farnpflanze von dem Moossporogon als direkte Weiterbildung abzuleiten. Ungeschlechtliche und geschlechtliche Generation der Archegoniaten können aber als ursprünglich homolog betrachtet werden; homolog sind auch Archegonien und Antheridien, welche in ihrer Entwicklung noch in einigen Punkten Übereinstimmungen zeigen und ursprünglich den Sporangien gleichwertig zu erachten sind.

Die jetzt lebenden Pteridophyten gliedern sich in folgende Klassen:

1. *Filicinae*, Farne. Stengel einfach oder verzweigt mit wohlentwickelten, abwechselnden, meist reichgefiederten Blättern. Sporangien zu mehreren in sogen. Sori vereinigt, oder zu vielen frei auf der Unterseite der Sporophylle, oder in besonderen Blattabschnitten eingeschlossen.

1. Ordnung. *Filices* Farne im engeren Sinne. Homospor.
2. Ordnung. *Hydropterides* Wasserfarne. Heterospor.

2. *Equisetinae*, Schachtelhalme. Stengel einfach oder quirlig verzweigt, mit quirlig gestellten, schuppenartigen, zu geschlossenen Scheiden verwachsenen Blättern. Sporophylle am Ende der Zweige zu einem ährenförmigen Sporangienstand vereinigt, schildförmig, auf der Unterseite mit vielen Sporangien.

3. Ordnung. *Equisetaceae* Schachtelhalme. Homospor.

3. *Lycopodinae*, Bärlappartige Gewächse. Stengel entweder gestreckt dichotomisch verzweigt und zwar gabelig oder sympodial ausgebildet, mit kleinen, in manchen Fällen sehr reduzierten Blättchen, selten gestaucht knollig mit pfriemlichen Blättern. Sporangien derbwandige Kapseln, einzeln in den Blattachseln am Stengel oder auf dem Blattgrund entspringend. Tapetenzellen bleiben erhalten.

4. Ordnung. *Lycopodiaceae* Bärlappe. Homospor.
5. Ordnung. *Selaginellaceae* Selaginellen. Heterospor.
6. Ordnung. *Isoetaceae* Brachsenkräuter. Heterospor.

Im fossilen Zustande bekannt sind außerdem verschiedene Gruppen, welche teils zu den drei genannten Klassen gezählt werden, teils besondere Klassen bilden.

Klasse I.

Filicinae, Farne.

1. Ordnung. Filices (67).

Die Filices oder Farne im engeren Sinne umfassen die Hauptmasse der Gefäßkryptogamen. Sie sind in außerordentlicher Fülle von Gattungen und Arten in allen Erdteilen verbreitet; ihre Hauptentwicklung erreichen sie in den Tropen. Hier treffen wir auch die stattlichsten Vertreter der Ordnung an, die Baumfarne (*Cyathea*, *Alsophila* u. a.), welche die besondere Familie der *Cyatheaceen* bilden. Der einfache holzige, meist etwa armdicke Stamm der Baumfarne (Fig. 374) ist unverzweigt und trägt an seinem Ende eine Rosette von riesigen, mehrfach gefiederten Blättern oder Wedeln, die successive von der Stammknospe erzeugt werden und mit Hinterlassung großer Blattstielnarben später absterben und abfallen. Der Stamm ist mittels zahlreicher Adventivwurzeln im Boden befestigt. Er gleicht im Habitus einer Palme. Die Mehrzahl der Farne, so auch alle unsere einheimischen, leben dagegen als krautartige bodenständige Pflanzen, besitzen ein kriechendes, wenig verzweigtes Rhizom und meist am Ende desselben eine Rosette reichgefiederter Blätter. So verhält sich u. a. der in unseren Wäldern sehr häufige Wurmfarn, *Aspidium filix mas*, dessen Rhizom als wurmtreibendes Mittel officinell ist. Wie Fig. 373 zeigt, sind die Blätter in der Jugend mit der Spitze eingerollt, eine Eigentümlichkeit, welche sämtlichen Blättern der Farne und auch der Wasserfarne zukommt. Im Gegensatz zu den Phanerogamenblättern vollzieht sich bei den Farnblättern das Wachstum an der Spitze bis zur vollen Größe.

Bei dem gewöhnlichsten, einheimischen Farnkraut, dem Engelsüß, *Polypodium vulgare*, sind die Blätter einfach gefiedert und entspringen einzeln auf der Oberseite des zwischen Moos oder an Felsen kriechenden verzweigten Rhizoms. Auch gibt es manche Farne, welche ganz einfache ungeteilte Blätter aufweisen, so die Hirschzunge, *Scolopendrium vulgare* (Fig. 375).

In den Tropen wachsen zahlreiche krautige Farne als Epiphyten auf den Waldbäumen.

Die meisten Farne sind an ihren Stämmen, Blattstielen und zum Teil auch den Blättern mit bräunlichen, einschichtigen, oft gefransten, sogen. Spreuschuppen (Paleae) bekleidet, welche zu den Trichomen zu rechnen sind.

Im allgemeinen werden die Sporangien in großer Zahl auf der Unter-

seite der Blätter erzeugt. Die Sporophylle sind in der Regel nicht von den sterilen Laubblättern in der äußeren Form verschieden. Nur bei einigen Gattungen findet eine ausgeprägte Heterophyllie statt. Als einheimischer Vertreter ist hier der Straußfarn, *Struthiopteris germanica* (*Onoclea Struthiopteris*), zu nennen, dessen gedrungene, dunkelbraune Sporophylle zu mehreren im Innern der großen Blattrosette stehen.

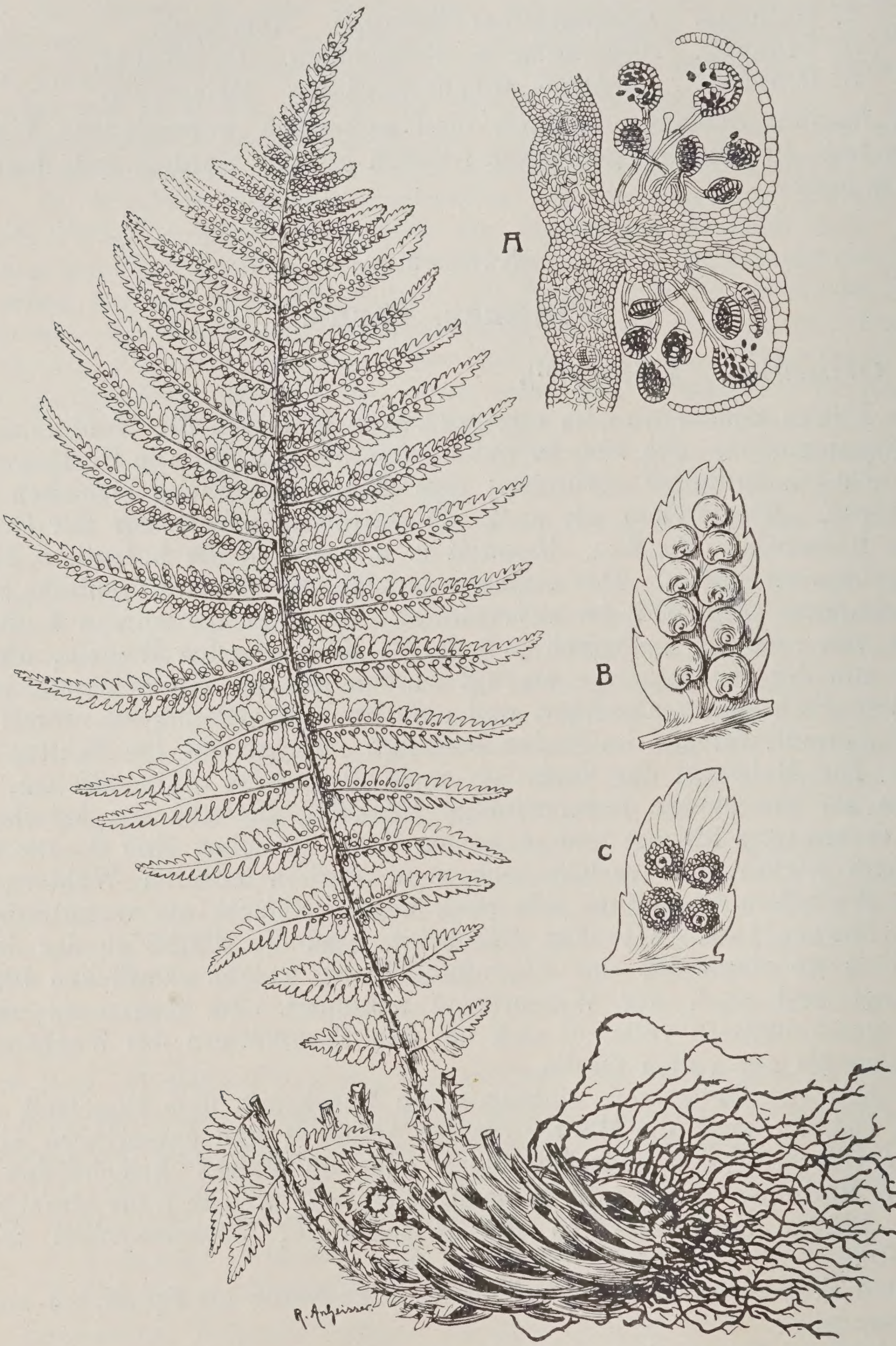


Fig. 373. Aspidium filix mas. $^2/_5$ nat. Gr. *A* Fruchthäufchen. Quer durchschnitten. Vergr. 20. (Nach Kny.) *B* Fiederchen mit jungen, noch vom Schleier bedeckten Sori. *C* Desgleichen in älterem Stadium mit geschrumpftem Schleier. Schwach vergrößert. — Officinell.

Bezüglich der Ausbildung der Sporangien machen sich bei den einzelnen Familien Unterschiede geltend.

Es sei zunächst das Verhalten der Mehrzahl unserer einheimischen Farne, welche zu der umfangreichen Familie der *Polypodiaceen* gehören, dargestellt. Die Sporangien erscheinen hier in verschieden gestalteten Häufchen, sogen. Sori, vereinigt. Sie entspringen auf einem hervortretenden Blattgewebepolster, dem Receptaculum (Fig 373 *A*), und werden bei vielen Arten von einem häutigen Auswuchs der Blattfläche, dem sogen. Schleier,

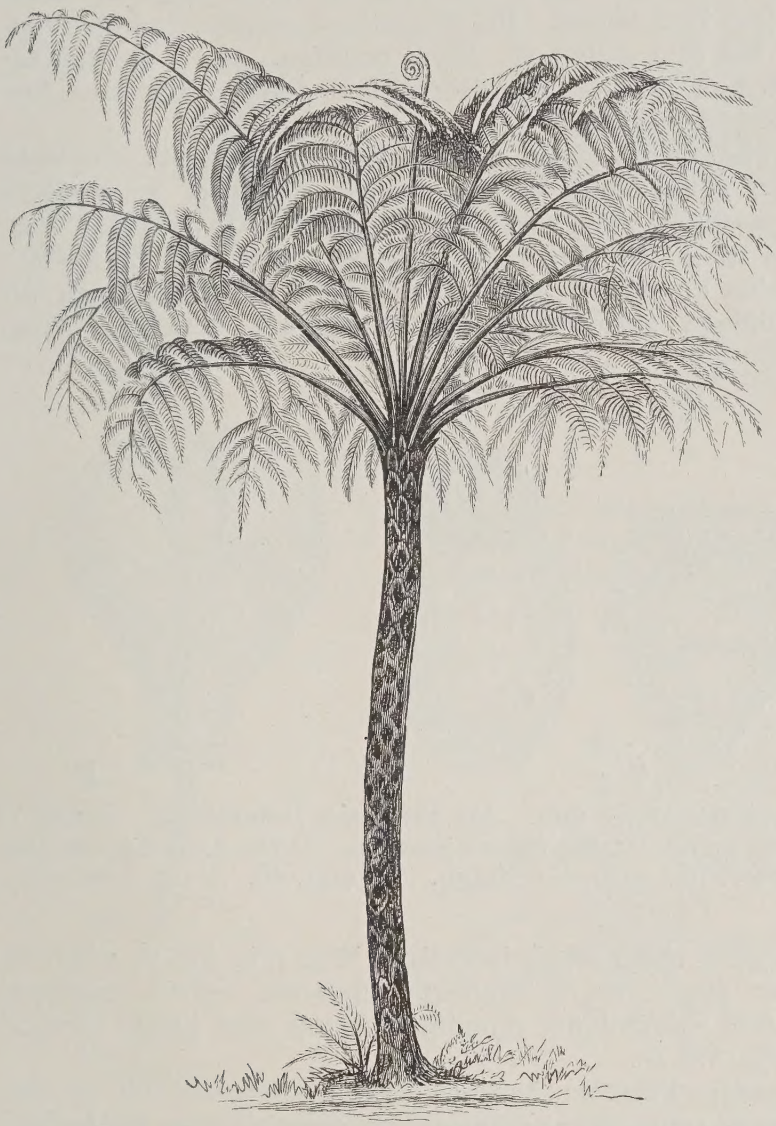


Fig. 374. Alsophila crinita, Baumfarn von Ceylon. Verkl.

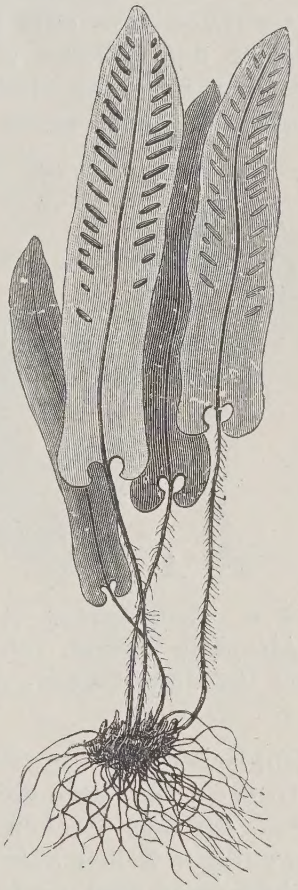


Fig. 375. Scolopendrium vulgare. 1/4 nat. Gr.

Indusium, vor der Reife bedeckt und geschützt (Fig. 373 *B*, *C*). Das einzelne Sporangium (Fig. 376) geht aus einer einzigen Epidermiszelle durch Teilung hervor, besteht im reifen Zustand aus einer kleinen, mit mehrzelligem dünnem Stiel dem Polster aufsitzenden Kapsel mit einschichtiger Wandung und umschließt in derselben eine größere Anzahl von Sporen. Sehr charakteristisch für die Polypodiaceen ist der Ring, Annulus, welcher hier über den Rücken und Scheitel der Sporangienwandung bis zur Mitte der Bauchseite als vortretende Zellenreihe mit stark verdickten Radial- und Innenwänden verläuft.

Beim Austrocknen der Kapselwand werden durch den Kohäsionszug des schwindenden Wassers in den Annuluszellen deren dünne Außenwände nach innen eingestülpt, der Ring also außen verkürzt und dadurch das Aufreißen der Sporangien in einer Quer

spalte zwischen den breiten Endzellen des Ringes verursacht. Ist der Kohäsionszug des Wasserrestes schließlich überwunden, dann erfolgt ein elastisches Zurückschnellen des Ringes, das die Ausstreuung der Sporen befördert (vgl. S. 221).

Die Form und Insertion der Sori, das Vorhandensein und die Gestalt oder das Fehlen der Indusien geben die wichtigsten Gattungsunterschiede ab. Bei *Scolopendrium* sind die Sori strichförmig, parallel zu den Seitennerven, bestehen aus zwei über je einen Blattnerven laufenden Streifen und werden an beiden Seiten von einem lippenförmigen einschichtigen Indusium bedeckt, das bei der Reife zurückklappt. Bei *Aspidium* dagegen treffen wir zahlreiche rundliche Sori, bedeckt mit einem weißlichen nierenförmigen, dem Receptaculumscheitel eingefügten Indusium, und die Sporangien tragen öfters an ihrem Stiel ein gestieltes köpfchenförmiges Drüsenhaar. Bei *Polypodium vulgare* sind die rundlichen Sori ganz ohne Schleier. Bei dem Adlerfarn, *Pteris aquilina*, stehen die Sporangien an den Rändern der Blattfiedern in kontinuierlicher Linie und werden von dem nach unten eingeschlagenen Blattrand bedeckt.

Außer den Polypodiaceen umfassen die Farne noch andere, vorwiegend tropische Familien, deren Sporangien in der Ringbildung Verschiedenheiten zeigen. So besitzen die *Cyatheaceen* oder Baumfarne Sporangien mit vollständigem, in schiefem Verlauf über den Scheitel ziehenden Ring (Fig. 376 *B*, *C*), ebenso haben die *Hymenophyllaceen*, deren zierliche kleine Formen vielfach als Epiphyten an Baumfarnen angetroffen werden, einen vollständigen schief über das Sporangium laufenden Ring,

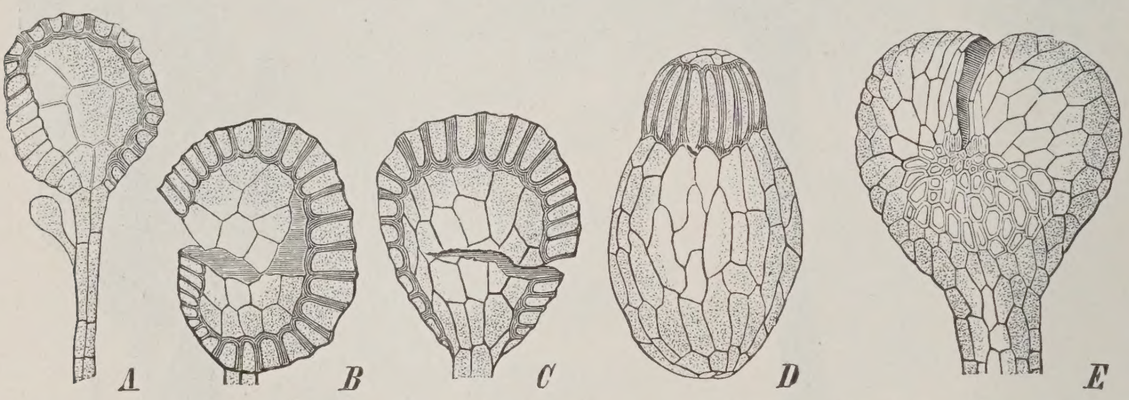


Fig. 376. Sporangien. *A* von Aspidium Filix mas. Am Stiel ein Drüsenhaar. *B* und *C* von Alsophila armata, von zwei entgegengesetzten Seiten gesehen. *D* von Aneimia caudata, *E* von Osmunda regalis. *A*—*D* Vergr. 70, nach der Natur, *E* Vergr. 40. (Nach LÜRSSEN.)

die tropischen *Schizaeaceen* dagegen einen scheitelständigen Ring (Fig. 376 *D*), während die *Osmundaceen*, die bei uns durch den Königsfarn, *Osmunda regalis*, vertreten werden, auf dem Rücken unter dem Scheitel des Sporangiums nur eine kleine Gruppe dickwandiger Zellen aufweisen (Fig. 376 *E*).

Alle diese und auch noch andere Familien besitzen freie Sporangien mit in der Reife einschichtiger Wand, und stets gehen die Sporangien aus einer einzigen Epidermiszelle hervor. Sie werden als *Filices leptosporangiatae* zusammengefaßt. Ihnen stehen die *Eusporangiatae* gegenüber, zu denen die *Marattiaceen* und die *Ophioglossaceen* gehören. Bei diesen entstehen die Sporangien aus einer ganzen Gruppe von Epidermiszellen und darunter gelegenen Zellschichten, sind derbwandig, ohne Ring, und springen mit Querriß auf.

Die *Marattiaceen* sind große stattliche tropische Farne mit dicker Stammknolle und riesigen an der Basis mit zwei Stipulae versehenen Wedeln. Ihre Sporangien sind im reifen Zustand mit derber mehrschichtiger Wand versehen, entweder frei (*Angiopteris*), oder alle Sporangien eines Sorus miteinander zu einem, in ebensovielen Fächern aufspringenden, kapselartigen, ovalen Gebilde verwachsen.

Eigenartige Farne sind die *Ophioglossaceen*, zu denen nur wenige Arten gehören. Bei uns einheimisch sind *Ophioglossum vulgatum*, die Natternzunge und verschiedene Arten der Mondraute, *Botrychium* (Fig. 377). Beide haben einen kurzen Stamm, an dem jedes Jahr nur ein einziges mit Blattscheide versehenes Blatt sich entfaltet. Dasselbe ist bei ersterer Gattung einfach zungenförmig, bei letzterer gefiedert. Die Blätter beider

Gattungen tragen auf ihrer Oberseite einen unterhalb der Spreite aus dem Stiel entspringenden fertilen Blattabschnitt, welcher bei *Ophioglossum* einfach, schmal cylindrisch ist und die Sporangien in zwei Reihen in das Gewebe eingesenkt trägt, bei *Botrychium* dagegen im oberen Teile fiederartig verzweigt und daselbst mit großen rundlichen Sporangien auf der Innenseite dicht besetzt ist.

Alle Filices sind homospor. Das Prothallium hat meist die Gestalt eines flachen, herzförmigen, kleinen Thallus von der für *Aspidium* in Fig. 369 dargestellten Form. Antheridien und Archegonien entstehen an der Unterseite. Bei *Botrychium* und *Ophioglossum* dagegen bildet das Prothallium

Fig.377. Botrychium Lunaria. 1/2 nat. Gr.

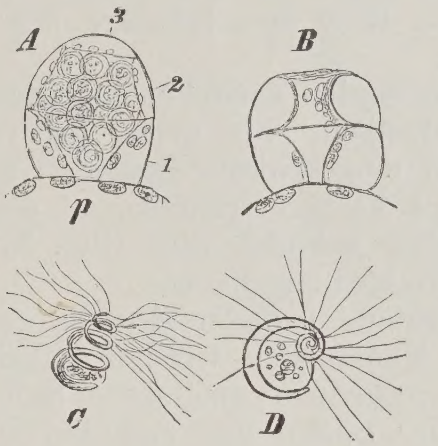


Fig. 378. Polypodium vulgare. *A* reifes, *B* entleertes Antheridium, *p* Prothalliumzelle, *1* und *2* Ringzellen, *3* Deckelzelle. *A* und *B* Vergr. 240. *C* und *D* Spermatozoiden Vergr. 540.

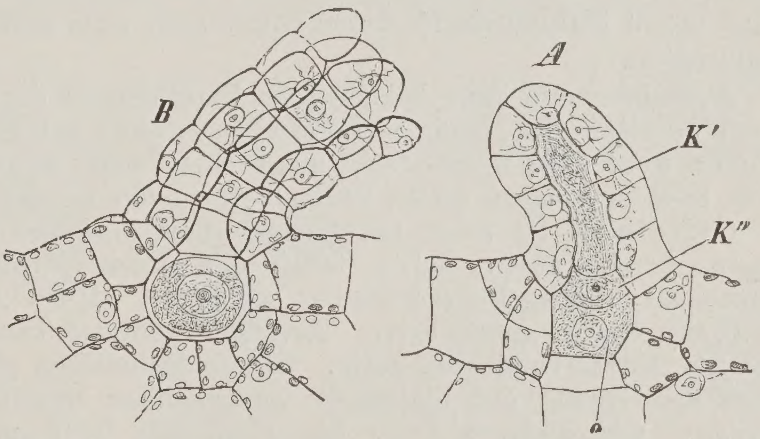


Fig. 379. Polypodium vulgare. *A* unreifes Archegonium, *K'* Halskanalzelle, *K''* Bauchkanalzelle, *o* Ei. *B* reifes geöffnetes Archegonium. Vergr. 240.

eine unterirdische saprophytische kleine Knolle, welche die Sexualorgane an der Oberseite eingesenkt entwickelt und endlich bei gewissen *Hymenophyllaceen* (*Trichomanes*) ist das Prothallium fädig verzweigt und trägt an seinen Ästen die Antheridien und auf besonderen mehrzelligen Seitenästen die Archegonien. Im Aufbau erinnern diese Prothallien ganz an das Protonema der Laubmoose.

Die Antheridien und Archegonien[68] sind ziemlich übereinstimmend bei allen Farnen gebaut (Fig. 378, 379). Die Antheridien werden an jungen Prothallien angelegt und sind kugelig vorgewölbte Gebilde, die mitten auf einer Prothalliumzelle sitzen und aus derselben durch papillenartige Vorwölbung, Abgrenzung durch eine Querwand und weitere Teilung hervor-

gegangen sind. Im reifen Zustand enthalten sie innerhalb einer einschichtigen Wandung eine größere Zahl von kleinen kugeligen Spermatozoidmutterzellen. Die Wandzellen bestehen aus zwei ringförmigen Zellen und der Deckelzelle. Die Spermatozoidmutterzellen gehen aus der centralen Zelle durch Teilung hervor. Die Entleerung der Antheridien geschieht durch den Druck der anschwellenden Ringzellen unter Sprengung der Deckelzelle. So gelangen die rundlichen Spermatozoidmutterzellen ins Wasser und entlassen nach einiger Zeit die pfropfzieherartig gewundenen, mit zahlreichen Cilien an den vorderen Windungen besetzten Samenfäden, an deren Hinterende ein Bläschen befestigt ist, das einige kleine Körnchen führt und einen unverbrauchten Rest des Inhaltes der Mutterzelle darstellt (Fig. 378 *D C*, Fig. 97 *B*).

Die Archegonien entstehen an älteren Prothallien, in der mehrschichtigen Mediane derselben. Sie gehen aus einzelnen Prothalliumzellen hervor und lassen einen eingesenkten Bauchteil und einen Halsteil unterscheiden. Der Halsteil ragt hervor, besteht aus einer einschichtigen Wandung, die von vier Zellreihen gebildet wird (Fig. 379), und schließt eine centrale langgestreckte Halskanalzelle ein.

Im Bauchteile befindet sich die große Eizelle, über ihr die Bauchkanalzelle. Die Kanalzellen werden aufgelöst und erfüllen den Kanal mit einer stark lichtbrechenden quellbaren Substanz. Diese quillt bei Wasserzutritt, öffnet an der Spitze das empfängnisfähige Archegonium und tritt hervor. Eine in das umgebende Wasser diffundierende Substanz (Äpfelsaure Salze) induziert den Spermatozoiden die Bewegungsrichtung nach dem Archegonium. Nach der Aufnahme eines Spermatozoids in das Ei umgibt sich die Eizelle mit Membran und entwickelt sich in der schon angegebenen Weise (vgl. Fig. 370), ohne einen Ruhezustand durchzumachen, zum Embryo der ungeschlechtlichen Generation.

Ausnahmsweise kann bei gewissen Farnkräutern der Sporophyt auf dem Prothallium durch vegetative Knospung sich entwickeln, ohne daß Sexualorgane mitwirken oder ausgebildet werden (Apogamie), und umgekehrt kommt es auch vor, daß an den Farnwedeln keine Sporen, sondern direkt Prothallien erzeugt werden (Aposporie) (69).

Officinell ist unter den Farnkräutern *Aspidium filix mas*, Rhizoma Filicis (Pharm. germ., austr., helv.), ferner das südeuropäische *Adiantum Capillus Veneris*, Frauenhaar, dessen Blätter benutzt werden: Folium Adianti seu Herba Capilli Veneris (Pharm. austr., helv.). Auch das nordamerikanische *Adiantum pedatum* liefert Folium Adianti (Pharm. helv.). Die seideähnlichen glänzendbraunen langen Gliederhaare am Grunde der Blattstiele verschiedener Baumfarne, besonders von *Cibotium Barometz* und anderen Arten dieser Gattung in Ostindien und auf den pacifischen Inseln liefern die als Wundwatte benutzten Paleae haemostaticae (Penawar Djambi, Pulu) (Pharm. austr.).

2. Ordnung. Hydropterides, Wasserfarne.

Zu den Wasserfarnen gehören nur einige wenige Gattungen von wasser- oder sumpfbewohnenden krautigen Gewächsen. Sie sind sämtlich heterospor. Die Makro- und Mikrosporangien entspringen nicht wie die Sporangien der Filices frei an der Unterseite der Blätter, sondern sind in besondere, an der Basis der Blätter sitzende Behälter, sogen. Sporangienfrüchte oder Sporocarpien eingeschlossen.

Die Wasserfarne werden in zwei Familien mit je zwei Gattungen unterschieden, die *Marsiliaceen* und *Salviniaceen*. Zu ersteren gehört die Gattung *Marsilia*, die bei uns durch *M. quadrifoliata* vertreten ist (Fig. 380). Dieselbe wächst auf sumpfigen Wiesen, hat eine kriechende dünne verzweigte Achse mit einzeln stehenden langgestielten Blättern, deren Spreite aus zwei dicht aneinander gerückten Fiederblattpaaren sich zusammensetzt. Über der Basis des Blattstiels entspringen paarweise, bei anderen Arten in noch größerer

Anzahl, die gestielten ovalen Sporocarpien, von denen ein jedes seiner Anlage nach dem assimilierenden 4fiedrigen sterilen, hier aber ungegliedert bleibenden Blattteil entspricht.

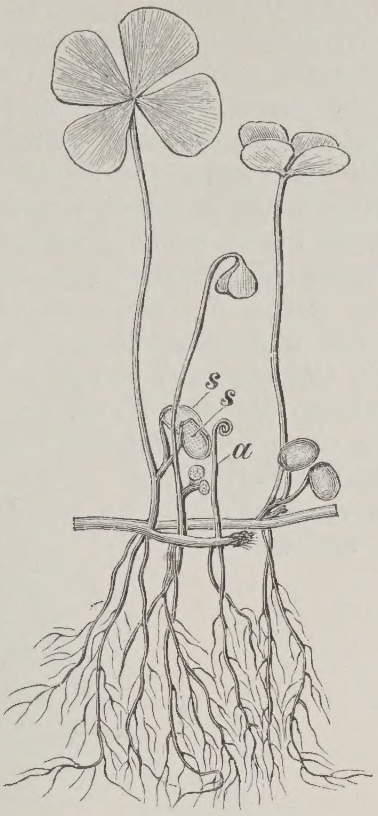


Fig. 380. Marsilia quadrifoliata. *a* junges Blatt, *s* Sporocarpien. Verkleinert. (Nach BISCHOFF.)

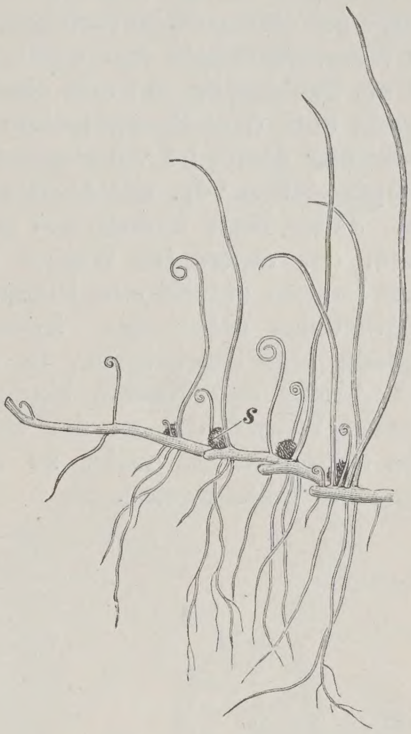


Fig. 381. Pilularia globulifera. *s* Sporocarpien. Verkleinert. (Nach BISCHOFF.)

Die Sporangiensori finden sich im Innern der Kapseln in 2 Reihen von Hohlräumen, die eine Zeitlang durch je einen nach der Bauchseite ausmündenden Kanal nach außen führen, zuletzt aber ganz geschlossen sind; es entstehen nämlich die Sporangien wie bei allen übrigen Farnen auch hier ursprünglich aus Oberflächenzellen, die dann durch Umwallung des umgebenden Gewebes in die Hohlräume zu liegen kommen. Wie die Abbildung zeigt, sind die jungen Blätter (*a*) an der Spitze schneckenförmig eingerollt, sie entwickeln sich somit bei den Marsiliaceen in derselben Weise wie bei den Farnen.

Die zweite Gattung *Pilularia*, zu der als einheimische Art *P. globulifera*, ebenfalls auf sumpfigen Wiesen wachsend, gehört, unterscheidet sich von Marsilia durch einfache lineale Blätter, an deren Grunde die kugeligen, in der Anlage dem sterilen Blattteil entsprechenden Sporocarpien einzeln entspringen (Fig. 381).

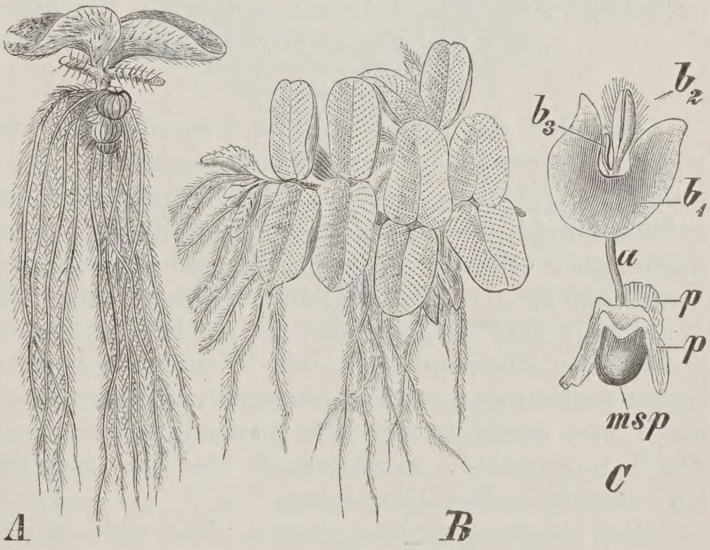
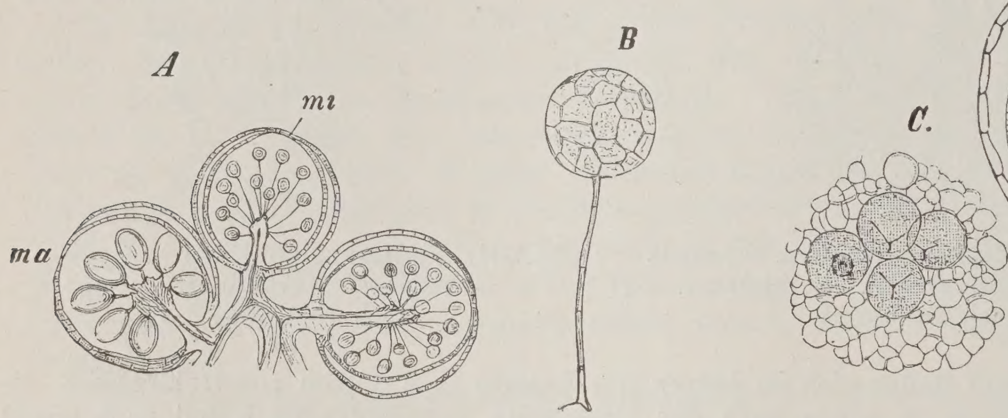


Fig. 382. Salvinia natans. *A* von der Seite. *B* von oben. Verkleinert. (Nach BISCHOFF.) *C* Keimpflanze, *msp* Makrospore. *p* Prothallium, *a* Stengel, b_1 b_2 b_3 die drei ersten Blätter. b_1 das sogen. Schildchen. Vergr. 15. (Nach PRINGSHEIM.)

Die zweite Familie, *Salviniaceen*, enthält freischwimmende Wasserpflanzen. Die erste Gattung *Salvinia* ist in unserer Flora durch *S. natans* vertreten, deren wenig verzweigter Stengel an jedem Knoten drei Blätter trägt; die beiden oberen sind

als ovale Schwimmblätter ausgebildet, das untere dagegen ist in zahlreiche in das Wasser herabhängende fadenförmige behaarte Zipfel geteilt und übernimmt die Funktion der fehlenden Wurzeln. An diesen Wasserblättern sitzen am Grunde der basalen Zipfel zu mehreren die kugeligen Sporocarpien (Fig. 382), welche bei den Salviniaceen eine andere Entwicklungsgeschichte zeigen als bei den Marsiliaceen. Die Sporangien entspringen am Grunde des Sporocarps auf einem säulenförmigen Receptaculum, das seiner Anlage nach einem modifizierten Wasserblattzipfel entspricht. Die Hülle dagegen ist als Indusium aufzufassen, sie entsteht als Neubildung in Form eines Ringwalles, der krugförmig und schließlich hohlkugelförmig über dem Receptaculum mit seinem Sporangiensorus zusammenwächst. Die zweite Gattung *Azolla* ist vorwiegend tropisch und stellt kleine zierliche reichverzweigte Schwimmpflänzchen vor, mit dicht aufeinander folgenden Blättchen in zweizeiliger Anordnung. Jedes Blatt besteht aus zwei Lappen, von denen der obere schwimmt und assimiliert, der untere ins Wasser taucht und an der Wasseraufnahme sich beteiligt. Der obere Lappen enthält eine Höhlung, die mit enger Öffnung nach außen mündet und stets Nostocfäden beherbergt. Zwischen diese wachsen aus der Wand der Höhlung Haare hinein, eine Erscheinung, die auf das Bestehen eines symbiotischen Verhältnisses zwischen Azolla und Nostoc hindeutet. Azolla besitzt zarte lange echte Würzelchen an der Unterseite des Stengels und rundliche Sporenfrüchte meist zu zwei unterseits am ersten Blatt einzelner Seitenzweige.



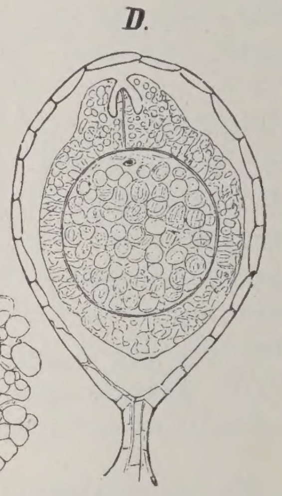


Fig. 383. Salvinia natans. *A*, *ma* Makrosporocarpium, *mi* Mikrosporocarpium in medianem Längsschnitt. Vergr. 8. *B* ein Mikrosporangium von außen gesehen. Vergr. 55. *C* in schaumige Zwischensubstanz eingebettete Mikrosporen. Vergr. 250. *D* Makrosporangium und Makrospore, in medianem Längsschnitt. Vergr. 55.

Der Bau der Sporangien und Sporen und die Entwicklung der Prothallien zeigen manche Unterschiede den Filices gegenüber. Sie mögen an dem Beispiel von *Salvinia natans* (70) erläutert werden. Die Sporocarpien enthalten entweder Mikrosporangien in größerer Zahl oder Makrosporangien in geringerer Zahl (Fig. 383 *A ma, mi*). Beiderlei Sporangien erinnern in ihrem Bau am ehesten an die Sporangien der leptosporangiaten Farnkräuter, sie sind gestielt, besitzen im reifen Zustand eine einschichtige dünne Wandung, aber keinen Ring (*B D*). Die Mikrosporangien umschließen eine größere Anzahl von Mikrosporen, welche in eine schaumige erhärtete Zwischensubstanz eingebettet liegen und zwar, ihrer Entstehung in Tetraden aus den Sporenmutterzellen entsprechend, zu je vier genähert (*C*). Die schaumige Zwischensubstanz geht hervor aus dem Plasma der Tapetenzellen, welche auch hier ihre Selbständigkeit aufgeben und zwischen die Sporenmutterzellen einwandern.

Die Mikrosporangien platzen nicht auf, die Mikrosporen keimen vielmehr innerhalb derselben und entwickeln nur ein kurzes schlauchförmiges männliches Prothallium, das nach außen durch die Sporangiumwand hervortritt. Durch aufeinanderfolgende Teilungen werden in diesen die Antheridien erzeugt (Fig. 384). Jedes Antheridium erzeugt im ganzen vier Spermatozoidmutterzellen, welche nach außen durch Aufbrechen der Zellwände gelangen. Obwohl somit das ganze männliche Prothallium sehr reduziert erscheint, läßt es sich in seinem Aufbau unschwer auf die Prothallien der Filices zurückführen.

Die Makrosporangien sind größer als die Mikrosporangien und besitzen ebenfalls

eine einschichtige Wandung (Fig. 383 *D*), enthalten aber nur eine einzige große Makrospore, indem nur eine der zahlreich angelegten Sporen auf Kosten der übrigen sich weiter entwickelt. Die Makrospore ist mit großen eckigen Proteïnkörnern, mit Öltröpfchen und Stärkekörnern dicht erfüllt; an ihrem Scheitel liegt dichteres Plasma und der Kern. Die Membran der Spore wird von einem derben braunen Exinium bedeckt und dieses ist von einer dicken schaumigen Hülle, dem Perinium, überlagert, welche der Zwischensubstanz des Mikrosporangiums entspricht und wie diese aus den Tapetenzellen hervorgeht, also der Spore aufgelagert wird. Die Makrospore bleibt von der Sporangiumwand umschlossen, wird mit dieser von der Mutterpflanze frei und schwimmt an der Wasseroberfläche. Bei ihrer Keimung wird in dem Plasma am Scheitel durch Teilung ein kleinzelliges weibliches Prothallium gebildet, während die darunter gelegene

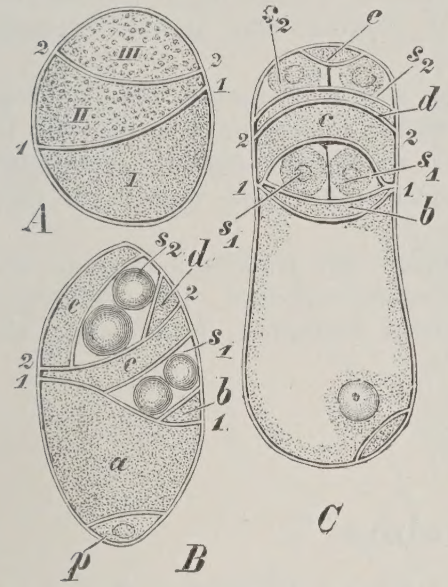


Fig. 384. Salvinia natans. Männliche Prothallien. *A* Teilung der Mikrosporen in drei Zellen, *I*–*III*. Vergr. 860. *B* fertiges Prothallium von der Flanke. *C* von der Bauchseite. Vergr. 640. Zelle *I* hat sich in die Prothalliumzellen *a* und *p* geteilt, *p* ist als Rhizoidzelle zu deuten, Zelle *II* in die sterilen Zellen *b*, *c* und die beiden spermatogenen Zellen s_1, von denen jede zwei Spermatozoidmutterzellen bildet. Zelle *III* in die sterilen *d*, *e* und die beiden spermatogenen Zellen s_2. Die Zellen s_1 s_1 und s_2 s_2 stellen zwei Antheridien vor, die Zellen *b*, *c*, *d*, *e* deren Wandungszellen. (Nach Belajeff.)

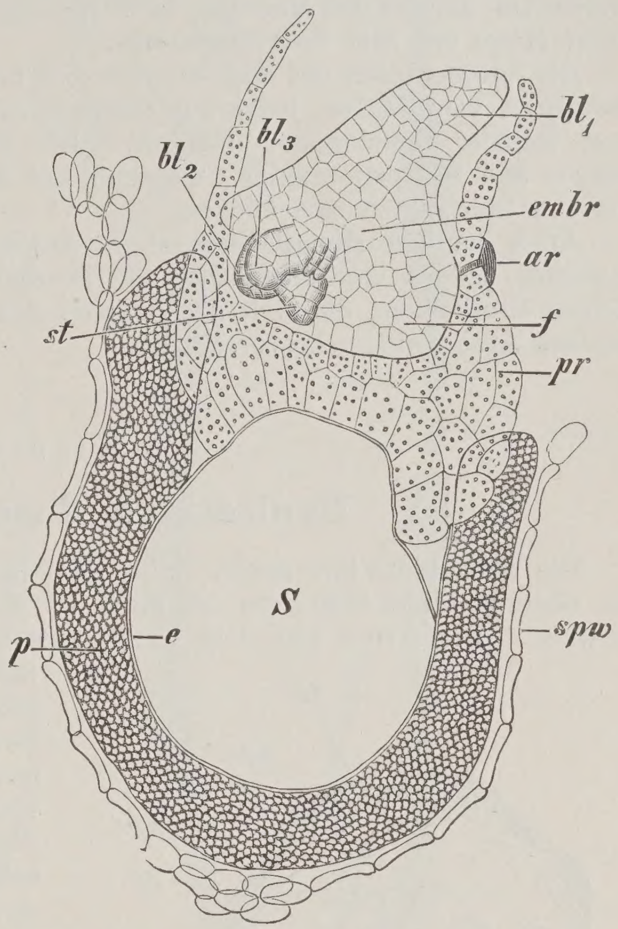


Fig. 385. Salvinia natans. Embryo im Längsschnitt, Prothallium *pr*, *s* Sporenzelle, *e* Exinium, *p* Perinium, *spw* Sporangiumwand, *embr* Embryo, *f* Fuß, bl_1, bl_2, bl_3 die drei ersten Blätter, *st* Stammscheitel. Vergr. 100. (Nach Pringsheim.)

große Zelle mit ihrem Reichtum an Reservestoffen zu dessen Ernährung dient und sich nicht weiter teilt. Die Sporenhaut platzt in drei Klappen auf, ebenso springt die Sporangienwand auf, und das grüne Prothallium ragt nun als kleines sattelförmiges Gebilde etwas hervor. Es entwickelt drei Archegonien; aber nur die befruchtete Eizelle des einen derselben kommt zur Weiterentwicklung und zur Anlage eines Embryo, welcher mit seinem Fuß im erweiterten und schließlich gesprengten Archegoniumbauch steckt (Fig. 385). Das erste Blatt der Keimpflanze (Fig. 382 *C*) hat schildförmige Gestalt, es schwimmt auf der Oberfläche des Wassers.

Bei *Azolla* [71] verläuft der Entwicklungsgang in ähnlicher Weise, aber die Sporangien und Sporen zeigen eine Reihe von Besonderheiten. In den Mikrosporangien werden die Sporen durch die von dem Plasma der Tapetenzellen stammende Zwischensubstanz zu mehreren rundlichen Ballen, den sogen. Massulae, vereinigt. Jede Massula umschließt eine Anzahl von Sporen und ist an der Oberfläche mit gestielten Widerhäkchen, sogen.

Glochiden, Auswüchsen der Zwischensubstanz, besetzt. Die Sporangiumwand platzt auf und entläßt die Massulae, welche im Wasser zu den Makrosporen gelangen. In den Makrosporangien, welche zu je 1 in jeder Frucht stehen, wächst nur eine Spore weiter, verdrängt alle anderen Sporenzellen, und preßt schließlich auch die Wandung des Makrosporangiums selbst flach zusammen, so daß dieselbe dicht an die eiförmige Sporenfruchtwandung zu liegen kommt; auch kann die Sporangiumwandung dabei teilweise aufgelöst werden. Das Perinium umgibt die Makrospore als schaumige, mit Vertiefungen und fadenförmigen Verlängerungen versehene Haut und bildet an deren Scheitel einen Aufsatz von drei birnförmig gestalteten Körpern. Die Massulae haken sich in das Perinium fest. Die Sporenfrucht reißt am unteren Teile auf, ihr Scheitel verbleibt an der frei gewordenen Makrospore in Form eines Schirmes. Die Prothalliumbildung ist im wesentlichen mit Salvinia übereinstimmend; an den kleinen wenigzelligen männlichen Prothallien, die aus den Massulae hervorgestreckt werden, entsteht aber nur ein einziges Antheridium mit acht Spermatozoiden.

Die Sporocarpien der *Marsiliaceen* sind komplizierter gebaut, enthalten bei *Pilularia globulifera* vier Fächer, jedes mit einem Sorus, bei *Marsilia* zahlreiche Sori (14—18) in zwei Reihen übereinander gelagert. Die Sori beider Gattungen enthalten zugleich Makro- und Mikrosporangien, während bei den Salviniaceen die Sori immer nur eine Art von Sporangien umschließen.

Auch bei den Marsiliaceen ist im großen und ganzen der Entwicklungsgang ein ähnlicher, jedoch erscheinen hier die Prothallien noch mehr reduziert. Die weiblichen kleinen Prothallien, die sich am Scheitel der Makrosporen ausbilden, bringen nur ein einziges Archegonium hervor.

Klasse II.

Equisetinae, Schachtelhalme (72).

Die Schachtelhalme stellen eine ganz selbständige Klasse vor und umfassen nur die Gattung *Equisetum*, die mit ihren 20 Arten eine weite Verbreitung auf der Erde aufweist. Die Arten sind teils Land- teils Sumpfpflanzen. Sie zeigen einen sehr charakteristischen Habitus und Aufbau ihrer ungeschlechtlichen Generation. Aus einem im Boden kriechenden, sich verzweigenden Rhizom entspringen aufrechte oberirdische Halme von meist nur einjähriger Lebensdauer. Bei *Equisetum arvense* (Fig. 387), dem Ackerschachtelhalm, sowie auch bei anderen Arten werden seitliche kurze Rhizomäste in Form von rundlichen Knollen als Reservestoffbehälter und Überwinterungsorgane ausgebildet. Die oberirdischen Halme bleiben entweder einfach, oder sie verzweigen sich in quirlig gestellte Äste zweiter, dritter u. w. Ordnung. Alle Achsen sind aus gestreckten Internodien zusammengesetzt, innen von einem centralen Luftgang und von peripherischen Luftgängen sowie von einem Kreis von kollateralen Gefäßbündel durchzogen (Fig. 386).

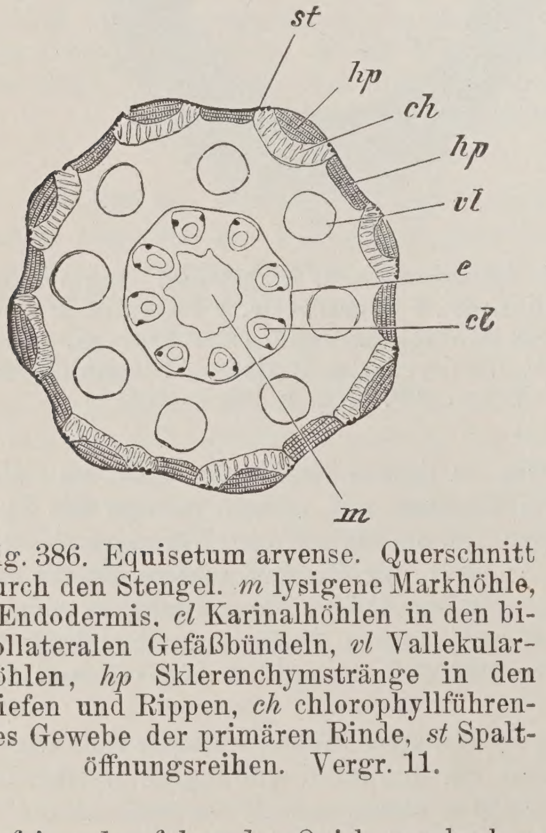


Fig. 386. Equisetum arvense. Querschnitt durch den Stengel. *m* lysigene Markhöhle, *e* Endodermis, *cl* Karinalhöhlen in den bikollateralen Gefäßbündeln, *vl* Vallekularhöhlen, *hp* Sklerenchymstränge in den Riefen und Rippen, *ch* chlorophyllführendes Gewebe der primären Rinde, *st* Spaltöffnungsreihen. Vergr. 11.

Eigenartig ist die Beblätterung der Schachtelhalme. An jedem Knoten steht ein Quirl von kleinen zugespitzten, unterwärts in eine manschettenartig den Stengel umschließende Scheide verwachsenen Schuppenblättern. Die Internodien sind mit ihrer Basis somit in diese Scheiden eingeschachtelt. Die aufeinander folgenden Quirle wechseln miteinander ab. Die Seitenzweige werden in den Achseln der Quirlscheidenblätter angelegt und brechen, da sie aus der engen Scheide

nicht nach oben herauswachsen können, durch dieselbe nach außen hervor. Entsprechend der Reduktion der Blattspreiten übernehmen die Halme die Funktion der Assimilation und bilden unter ihrer Epidermis das chlorophyllführende Gewebe aus.

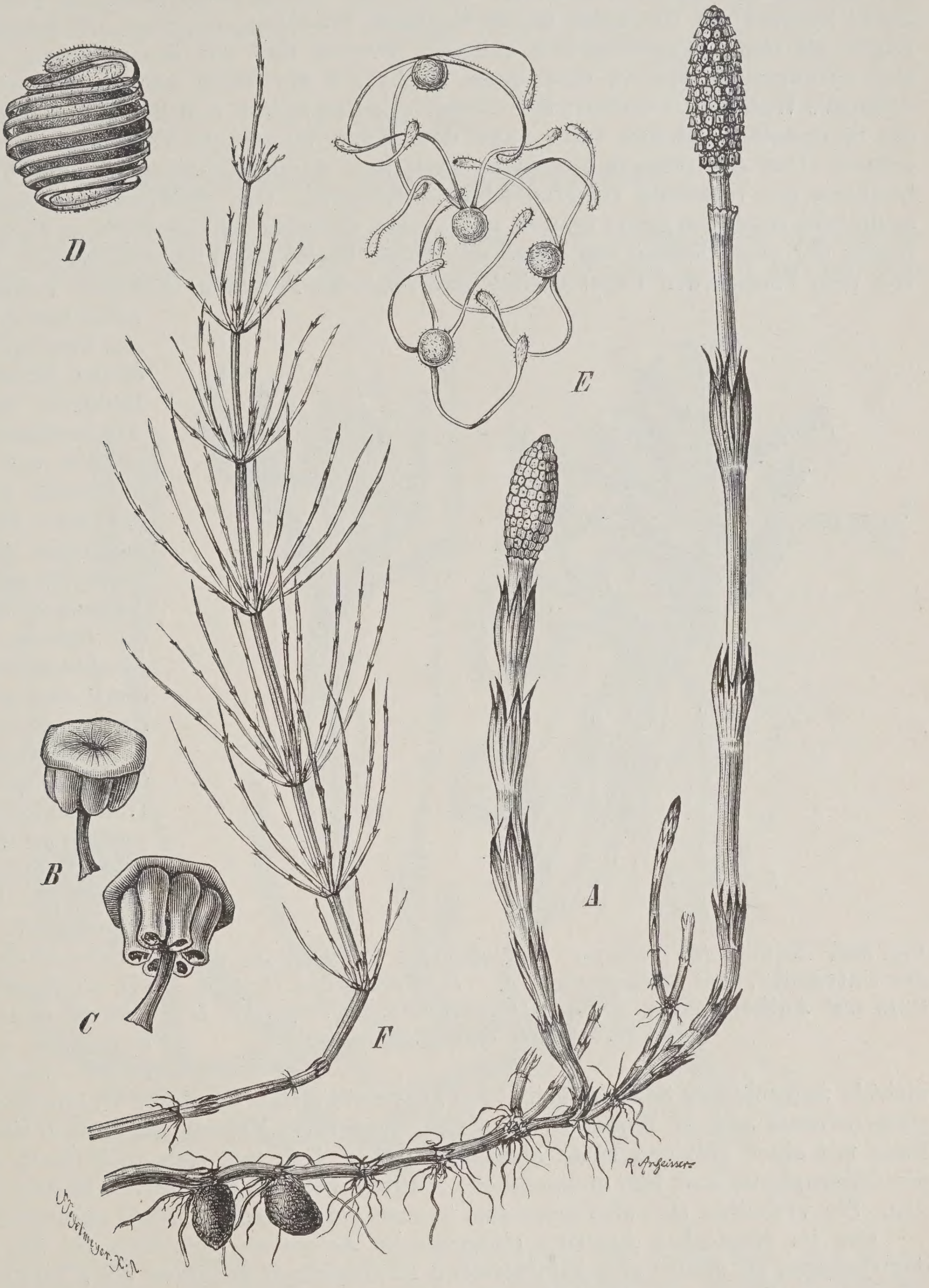


Fig. 387. Equisetum arvense. *A* Fertile Halme, dem knollentragenden Rhizom entspringend, mit vegetativem Halm noch in der Knospe. *F* Unfruchtbarer vegetativer Halm. *B* und *C* Sporophylle mit Sporangien, in *C* aufgesprungen. *D* Spore mit den beiden Spiralbändern des Periniums. *E* Sporen mit den in trockenem Zustand ausgebreiteten Spiralbändern. *A F* $^1/_2$ nat. Gr. *B C D E* Vergr.

Die Sporangien der Schachtelhalme werden von besonders gestalteten Blättern, Sporophyllen, erzeugt. Dieselben stehen in dicht aufeinander folgenden Quirlen am Gipfel der aufrechten Sprosse in Form eines ovalen oder kugeligen Sporangiumstandes

oder Sporophyllstandes (Fig. 387), welcher in seinem Aufbau der männlichen Blüte der Koniferen entspricht und demgemäß auch als Blüte zu bezeichnen ist. Der unterste Quirl ist steril, bildet einen kurzen Kragen. Die Sporophylle selbst haben die Form eines gestielten Schildes, an dessen Unterseite 5—10 sackförmige, mit Längsriß aufspringende Sporangien sitzen (Fig. 387 *B*, *C*). Das sporenbildende Gewebe ist im jüngeren Sporangium von einer mehrschichtigen Wandung umgeben. Während die inneren Lagen als sogen. Tapetenzellen aufgelöst werden und mit ihrem Plasma zwischen die sich abrundenden Sporen eindringen, bleibt bei der Reife nur die äußere Schicht als definitive Wandung erhalten; ihre Zellen erhalten Spiral- und Ringfaserverdickungen und die Sporangien gleichen darin ganz den ihnen homologen Pollensäcken der Phanerogamen. Das Aufspringen geschieht auch hier durch Kohäsionszug des bei dem Austrocknen der Wandung schwindenden Füllwassers. Das geöffnete Sporangium entleert zahlreiche rundliche grüne Sporen mit höchst eigentümlich beschaffener Membranbildung. Außer der eigentlichen, aus Intine und Exine bestehenden Sporenmembran ist ein dieser von dem Plasma der Tapetenzellen aufgelagertes Perinium (Epispor) vorhanden. Dasselbe besteht (Fig. 387 *D*) aus zwei spiralig gewundenen, parallel laufenden Bändern, die sich beim Austrocknen der Sporen ablösen und ausbreiten, bei Zutritt von Feuchtigkeit aber wieder zusammenlegen und durch ihre hygroskopischen Bewegungen dazu dienen, die Sporen, welche eingeschlechtliche Prothallien bilden, gruppenweise zu verketten (Fig. 387 *E*).

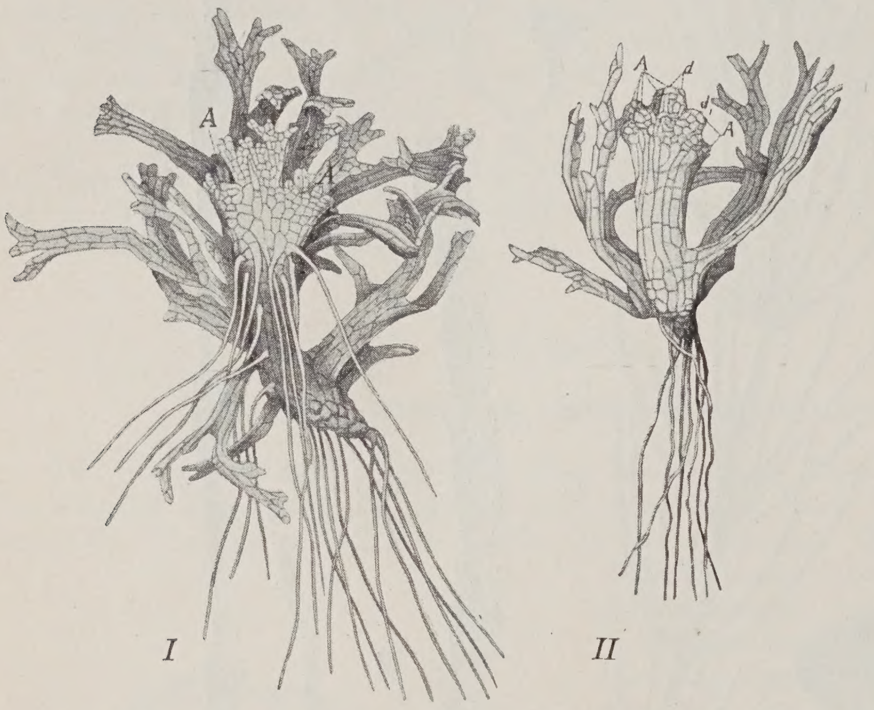


Fig. 388. Equisetum pratense. *I* Weibliches Prothallium von der Unterseite, mit Archegonien *A*. *II* Männliches Prothallium mit Antheridien *A*, *d* deren Deckelzellen. *1* Vergr. 17, *II* Vergr. 12. (Nach GÖBEL.)

Bei gewissen Schachtelhalmarten hat sich ein Unterschied in der Ausgestaltung der oberirdischen Halme herausgebildet. Teils bleiben dieselben steril, verzweigen sich reichlich, teils tragen sie an ihrem Ende die Blüten und verzweigen sich dann später sparsamer oder überhaupt nicht in unfruchtbare Seitenzweige. Am ausgeprägtesten ist dieser Unterschied bei *Equisetum arvense* und *E. Telmateja*, bei denen die fertilen Halme ganz einfach sind, an ihrem Ende mit einer einzigen Blüte abschließen (Fig. 387) und sich auch durch den Mangel des Chlorophylls und ihre blaßgelbliche Färbung von den vegetativen Halmen unterscheiden. Sie verhalten sich also gleichsam wie auf dem Rhizom lebende parasitische Sprosse.

Das im tropischen Amerika einheimische *Equisetum giganteum* ist die größte Art der Gattung, sie erhebt sich halbkletternd im Gesträuch mit ihren bis 2 cm dicken quirlig verzweigten Halmen bis über 12 m Höhe.

Die Sporen sind sämtlich von gleicher Beschaffenheit und keimen zu thallösen Prothallien aus. Die Prothallien sind meist diöcisch (Fig. 388). Die weiblichen Prothallien erreichen bedeutendere Größe und verzweigen sich reichlicher in dorsiventrale krause Lappen, an deren Grunde die Archegonien sitzen. Letztere sind ganz ähnlich wie bei den Farnen beschaffen, nur sind die obersten Zellen des aus vier Zellreihen bestehenden Halses stark verlängert und biegen sich bei der Öffnung des Archegoniums stark nach außen um. Am Embryo treten die ersten Blätter gleich in einem Quirl angeordnet auf und umwallen ringförmig den Stammscheitel, welcher mit dreiseitiger Scheitelzelle weiterwächst (Fig. 163, 164).

Die äußeren Membranen der Stengelepidermis sind bei den Schachtelhalmen mehr oder weniger stark mit Kieselsäure imprägniert, in besonderem Maße bei *Equisetum hiemale*, welches ebenso wie auch *E. arvense* infolgedessen zum Scheuern von metallenen Gefäßen, zum Polieren von Holz und zu ähnlichen Zwecken Verwendung findet.

Giftig: In einigen Equisetumarten sind giftig wirkende Stoffe nachgewiesen. Heu, mit viel Schachtelhalmen untermischt, ist für das Vieh schädlich.

Klasse III.

Lycopodinae, Bärlappgewächse.

Zu den Lycopodinae gehören als wichtigste und verbreitetste Gattungen *Lycopodium*, *Selaginella* und *Isoëtes*. Sie unterscheiden sich von den übrigen

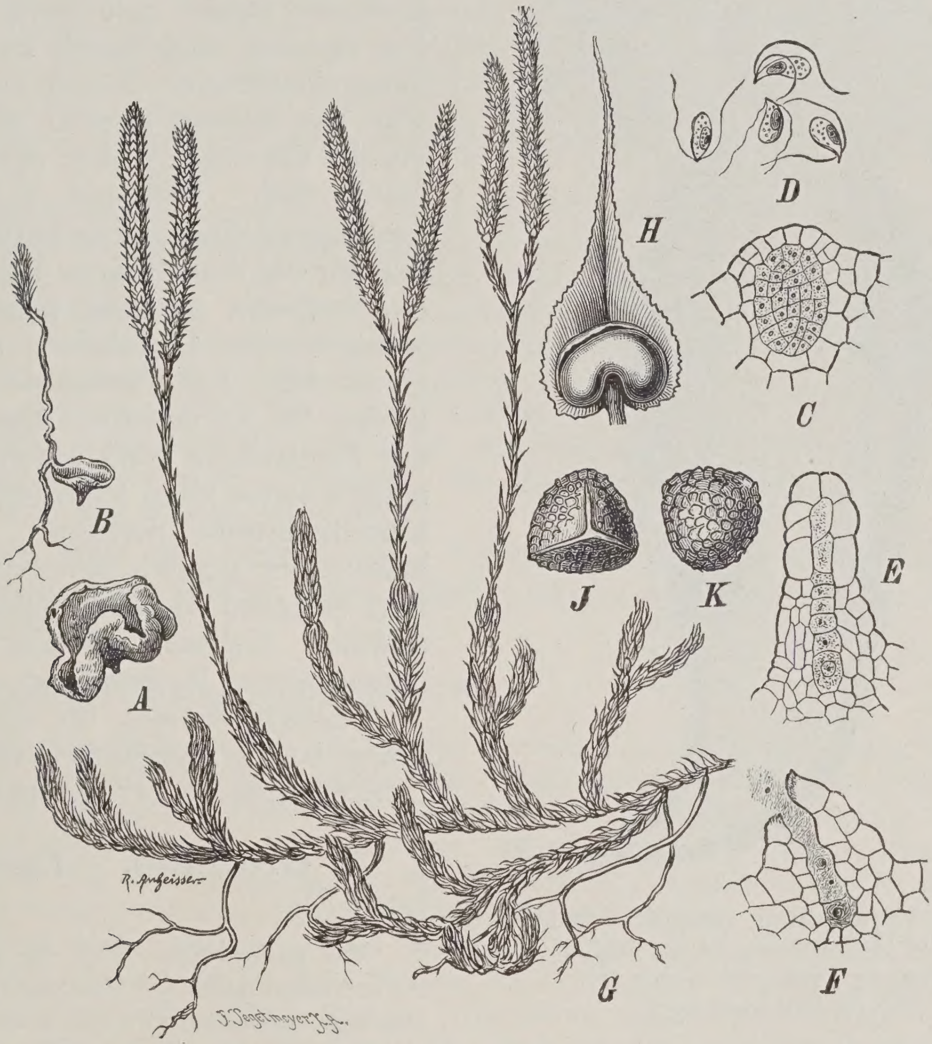


Fig. 389. Lycopodium clavatum. *A* Älteres Prothallium. *B* Prothallium mit junger Pflanze. *C* Antheridium, noch geschlossen, quer. *D* Spermatozoiden. *E* und *F* jüngeres, noch geschlossenes und befruchtungsreifes geöffnetes Archegonium. *G* Sporangientragende Pflanze $^1/_2$ nat. Gr. *H* Ein Sporophyll mit aufgesprungenem Sporangium. *I* und *K* Sporen in zwei Ansichten. *A—F* nach Bruchmann.

Pteridophyten, unter denen sie sich am ehesten noch an die eusporangiaten Filices anschließen lassen, durch ihren Habitus und ihre Sporangienentwicklung.

Während bei Filicinen und Equisetinen die Sporophylle stets zahlreiche Sporangien erzeugen, tragen sie hier diese Organe in der Einzahl am Grunde

der Blattoberseite oder in ihrer Achsel. Bei manchen Lycopodinen sind die Sporophylle von den sterilen Blättern kaum verschieden, bei den meisten aber anders gestaltet und an den Sproßenden zu ährenförmigen Sporophyllständen oder Blüten, ähnlich wie bei Equisetum, vereinigt. Die Sporangien der Lycopodiaceen sind im Verhältnis zu den Blättern relativ groß, sie entstehen aus einem sich vorwölbenden Gewebehöcker, welcher aus der Epidermis und den darunter gelegenen Zellen hervorgeht, also in derselben Weise wie bei den eusporangiaten Filices und den Equisetinen, während bei allen übrigen Pteridophyten das Sporangium stets aus einer Epidermiszelle allein seinen Ursprung nimmt. Die innerste Schicht der Wandung, Tapetenschicht, wird nicht aufgelöst. Ringbildung fehlt. Die Sporangien öffnen sich durch eine über den Scheitel laufende Spalte mit zwei Klappen. Die Spalten sind durch zwei Reihen dünn bleibender Zellen vorgebildet. Nur bei Isoëtes werden die Sporen durch Verwesung der Sporangiumwand frei. Während Lycopodium homospore Sporangien aufweist, treffen wir bei den übrigen Lycopodinen Heterosporie an und zugleich eine weitgehende Reduktion und sehr eigenartige Ausbildung des Prothalliums; bei Lycopodium dagegen sind die Prothallien wohl entwickelt und zeigen unter allen Pteridophyten die komplizierteste Struktur. Im Verhalten der geschlechtlichen Generation erinnern die heterosporen Lycopodinen vielfach an die ebenfalls heterosporen Hydropteriden.

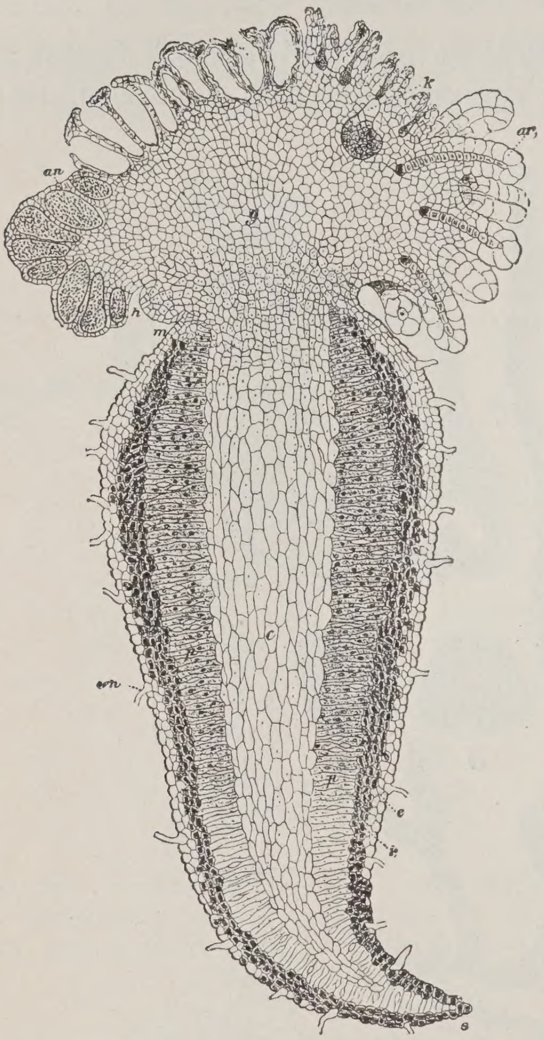


Fig. 390. Lycopodium complanatum, Prothallium mit Antheridien *an*, Archegonien *ar*; *k* junger Embryo. Vergr. 26. (Nach BBUCHMANN.)

Charakteristisch für die Lycopodinen ist die dichotome Verzweigung ihrer Stengel (Fig. 18, 19) und Wurzeln.

1. Ordnung. Lycopodiaceae[73].

Die zahlreichen über die ganze Erde verbreiteten Arten der Gattung *Lycopodium*, Bärlapp, sind krautige, meist erdbewohnende Gewächse; in den Tropen gibt es aber auch epiphytische Formen. Eine der häufigsten Arten unserer Flora ist *Lycopodium clavatum* (Fig. 389). Der Stengel dieser wie auch anderer Arten kriecht weit über den Boden hin, verzweigt sich gabelig in aufsteigende Seitenäste und ist dicht mit linealpfriemlichen kleinen Blättchen besetzt. Auf der Unterseite der Stengel entspringen dichotom verzweigte Wurzeln. Die ährenförmigen Blüten stehen zu zwei oder mehreren an den Enden von aufrechten, dichotom verzweigten Stengeln und setzen sich aus dicht aufeinander folgenden Sporophyllen zusammen. Die letzteren haben andere Form wie die sterilen Stengelblätter, sind breit schuppenförmig, laufen in eine lange Spitze aus und tragen am Grunde ihrer Oberseite je ein großes nierenförmiges, durch eine Querspalte zweiklappig aufspringendes Sporangium mit zahlreichen winzigen Sporen (Fig. 389 *H*).

Das einheimische *Lycopodium Selago* weicht in seinem Habitus von den übrigen Arten

ab, seine gabelig verzweigten Stengel sind alle aufrecht und die Sporophyllstände sind von der vegetativen Region der Zweige nicht abgesetzt.

Die Lycopodiumsporen sind alle gleichgestaltet, infolge ihrer Entstehung in Tetraden von kugeltetraëdrischer Gestalt. Ihre Exine ist mit netzförmigen Verdickungsleisten versehen (Fig. 389 *I*, *K*).

Die aus den Sporen hervorgehenden Prothallien sind erst für eine kleinere Anzahl von Arten bekannt geworden und zeigen bemerkenswerte Verschiedenheiten. Bei *L. clavatum* (Fig. 389 *A*, *B*) und dem nahe verwandten *L. annotinum* stellen sie unterirdische, saprophytisch lebende, kleine weißliche Knöllchen dar, welche anfangs kreiselförmig gestaltet, später durch Auswachsen der Randpartie zu vielgestaltigen, becherförmigen, wulstigen, buchtig gelappten, bis ca. 2 cm großen Gewebekörpern werden, die mit langen Wurzelhaaren besetzt sind und auf ihrer oberen Fläche zahlreiche Antheridien und Archegonien tragen. Bei *L. complanatum* (Fig. 390) sind diese unterirdischen Gewebekörper rübenförmige, bei *L. Selago* dagegen rundliche oder cylindrisch langgestreckte und gekrümmte Knöllchen, welche bei letzterer Art auch an der Oberfläche des Erdbodens sich entwickeln können und dann ergrünen. Anders dagegen verhält sich das auf feuchtem Torfboden lebende kleine *L. inundatum* unserer Flora und das tropische mit aufrechten reichverzweigten Sprossen versehene *L. cernuum*, deren Prothallien kleine im Boden steckende und mit Rhizoiden befestigte chlorophyllarme Gewebekörper vorstellen, die am oberen Ende grüne oberirdische Thalluslappen entsenden. Die Archegonien entspringen am Grunde dieser Thalluslappen, die Antheridien auch auf den Lappen selbst.

Die Prothallien sind alle monöcisch. Die Antheridien (Fig. 389 *C*) sind in das Gewebe etwas eingesenkt und umschließen zahlreiche Spermatozoidmutterzellen, aus denen die kleinen ovalen, unter ihrer Spitze zwei Cilien tragenden Spermatozoiden (Fig. 389 *D*) frei werden. Die Archegonien (Fig. 389 *E*, *F*) sind ähnlich wie bei den Farnen beschaffen, haben aber einen kürzeren Halsteil, dessen oberste Zellen beim Öffnen zu Grunde gehen. Die Zahl der Halskanalzellen ist bei den einzelnen Arten verschieden (1, 3--5, oder 6 bis 10). Die Embryoentwicklung verläuft in anderer Weise als bei den Farnkräutern und zeigt gewisse Ähnlichkeit mit derjenigen von Selaginella (Fig. 395). Es wird ein Embryoträger oder Suspensor gebildet, der aber auf dem Fußende des Embryos oder zwischen Fuß und Stammknospe steht.

Officinell sind die Sporen von *Lycopodium clavatum* und anderer Arten (Lycopodium, Pharm. germ., austr., helv.). Sie werden als Hexenmehl bezeichnet.

2. Ordnung. Selaginellaceae [74].

Die Gattung *Selaginella* ist bei uns nur durch wenige, in den Tropen dagegen durch zahlreiche Formen vertreten. Sie besitzen teils niederliegende, am Boden kriechende, reich gabelig, mit sympodialer Ausbildung verzweigte, teils aufrechte verzweigte Stengel; einige sind rasenbildend, andere klettern sogar mit mehrere Meter langem Stengel im Gesträuch empor. Im allgemeinen haben die Selaginellen ähnlichen Habitus wie die Lycopodien, ihr Stengel ist mit kleinen schuppenartigen Blättchen und zwar meist in dorsiventraler Anordnung besetzt, so bei der in den Alpen einheimischen *Selaginella helvetica* (Fig. 391), deren Stengel zwei Reihen kleiner, sogen. Oberblätter, und zwei Reihen diesen gegenüberstehender größerer Unterblätter trägt. Die Blätter der Selaginellen sind ausgezeichnet durch eine der Blattoberseite am Grunde entspringende kleine häutige Ligula.

Die Sporophyllstände oder Blüten verhalten sich ähnlich wie bei Lycopodium, sind endständig, einfach oder verzweigt, radiär, seltener dorsiventral. Jedes Sporophyll trägt nur ein über der Blattachsel aus dem Stengel entspringendes Sporangium. In derselben Blüte treten sowohl Makro- als auch Mikrosporangien auf. In den ersteren (Fig. 392 *A*—*C*) gehen die angelegten Sporenmutterzellen alle zu Grunde bis auf eine, welche die vier großen paarweise gekreuzten und die Sporangienwand buckelig vorwölbenden Sporen liefert. Das Aufspringen vollzieht sich auf vorgezeichneten Dehiscenzlinien in zwei auf einem basalen kahnförmigen Teile stehenden, sich zurückkrümmenden Klappen; durch den Druck des sich verengernden Kahnteils und der Klappen werden die Sporen herausgeschleudert. In den flachen Mikrosporangien sind zahlreiche kleine Sporen vorhanden.

Die Öffnung geschieht hier in ähnlicher Weise, nur ist der kahnförmige Teil viel kürzer, die Klappen reichen fast bis zur Basis.

Die Mikrosporen beginnen ihre Weiterentwicklung schon innerhalb des Sporangiums. Die Sporenzelle teilt sich zunächst in eine kleine linsenförmige, der Rhizoidzelle von Salvinia (Fig. 384) entsprechende Zelle und in eine große Zelle, welche successive in acht sterile Prothallien- oder Wandzellen und zwei oder vier centrale spermatogene

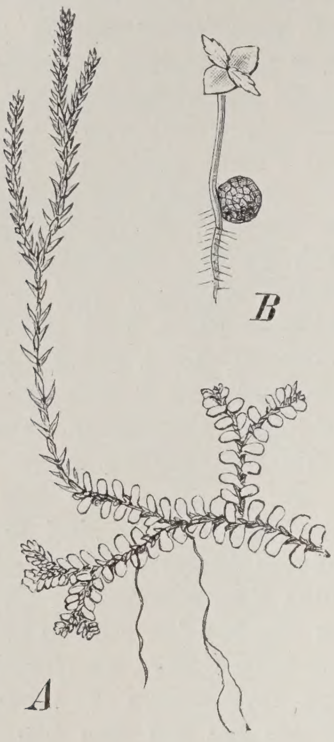


Fig. 391. *A* Selaginella helvetica. Nat. Gr. (Nach der Natur.) *B* S. denticulata, Keimpflänzchen mit der Makrospore. Vergr. (Nach BISCHOFF.)

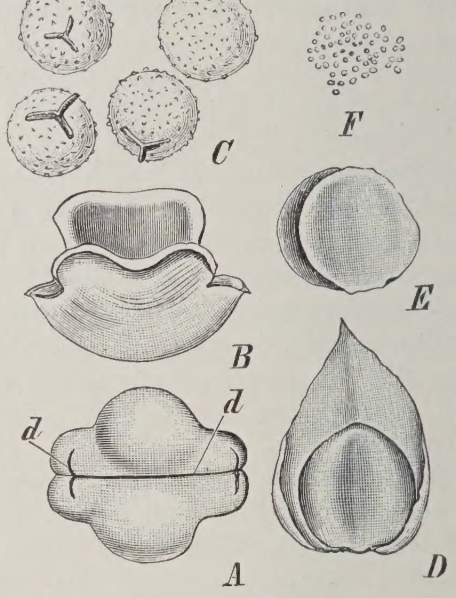


Fig. 392. Selaginella helvetica. *A* Makrosporangien von oben mit Dehiscenzlinie *d*. *B* geöffnet von der Seite, die vier Makrosporen *C* ausgeschleudert. *D* Mikrosporangien in der Achsel des Schuppenblattes von innen, *E* geöffnet, *F* Mikrosporen. Vergr. ca. 15.

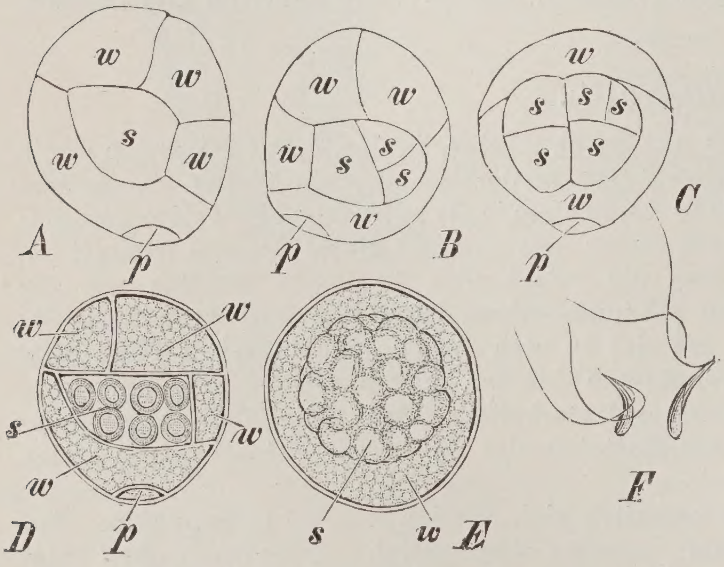


Fig. 393. *A—E* Selaginella stolonifera. Vergr. 640. Keimung der Mikrosporen, successive Stadien, *p* Prothalliumzelle als Rhizoidzelle aufzufassen, *w* Antheridiumwandzellen, *s* spermatogene Zellen. *A*, *B*, *D* von der Seite, *C* vom Rücken. In *E* die Prothalliumzelle nicht sichtbar, die Wandzellen aufgelöst, umgeben die Spermatozoidmutterzellen. *F* Sel. cuspidata, Spermatozoiden. Vergr. 780. (Nach BELAJEFF.)

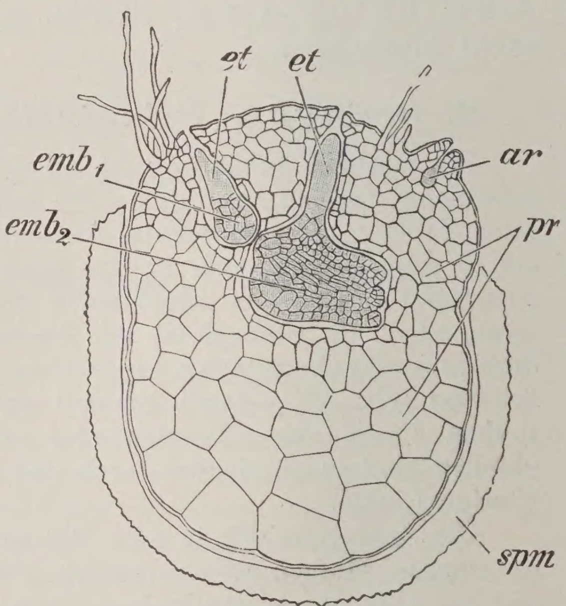


Fig. 394. Selaginella Martensii. Weibliches Prothallium, aus der am Scheitel geöffneten Makrosporenmembran *spm* hervortretend, *ar* unbefruchtet gebliebenes Archegonium, emb_1, emb_2 zwei in das Prothalliumgewebe eingesenkte Embryonen mit den Embryoträgern *et*. Vergr. 124. (Kombiniert nach PFEFFER.)

Zellen sich weiter teilt (Fig. 393 *A*). Durch weitere Teilung der letzteren Zellen, die ein einziges Antheridium vorstellen, entstehen die sich abrundenden Spermatozoidmutterzellen in größerer Anzahl (*B—D*). Die Wandzellen lösen alsdann ihre Wände auf und werden zu einer Schleimschicht, in welcher die centrale Masse der Spermatozoidmutterzellen eingebettet liegt (*E*). Die kleine Prothalliumzelle bleibt hingegen erhalten. Das ganze männliche Prothallium ist bis zu diesem Stadium von der Mikrosporenhaut noch umschlossen; schließlich bricht diese auf und die Mutterzellen werden frei, um die keulenförmigen, an der Spitze mit zwei langen Cilien versehenen Samenfäden zu entlassen. Die Bildung dieses reduzierten Prothalliums erinnert an die gleichartigen Vorgänge bei den Hydropteriden.

Auch die Makrosporen beginnen, allerdings nicht bei allen Arten, ihre Weiterentwicklung schon, wenn sie noch im Sporangium eingeschlossen liegen. Der Zellkern teilt sich in Tochterkerne, die in dem Wandplasma am Scheitel sich verteilen, und nun beginnt hier die Ausbildung von Zellwänden. So wird vom Scheitel bis zur Basis

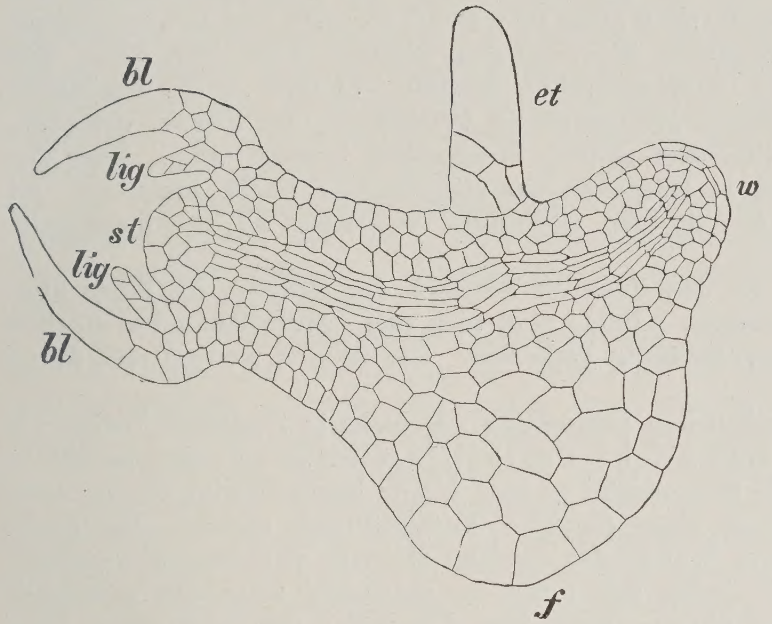


Fig. 395. Selaginella Martensii. Längsschnitt durch einen noch nicht aus der Spore hervorgebrochenen Embryo. *et* Embryoträger, *w* Wurzel, *f* Fuß, *bl* Blätter, *lig* Ligula, *st* Stammscheitel. Vergr. 165. (Nach Pfeffer.)

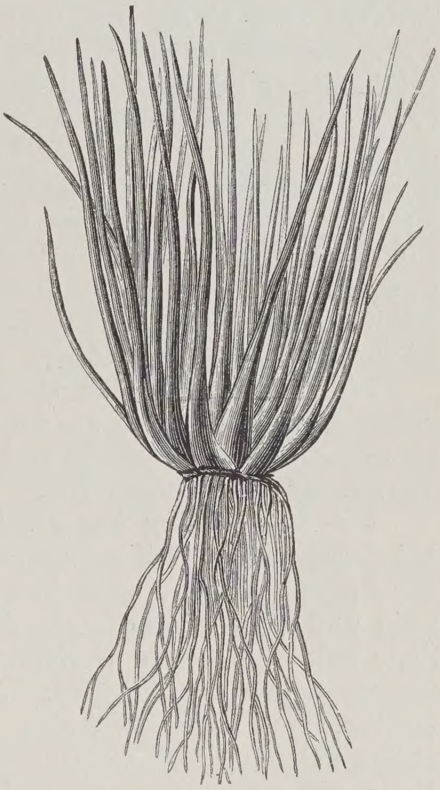


Fig. 396. Isoëtes lacustris. $^1/_2$ nat. Gr.

fortschreitend die Spore durch Vielzellbildung ganz mit großen Prothallienzellen angefüllt; zugleich beginnt aber auch in derselben Richtung die weitere Teilung dieser Zellen in kleinzelliges Gewebe. Bei einigen Arten wird zunächst nur am Scheitel eine kleinzellige Scheibe von Zellen angelegt, welche durch verdickte Innenwände (Diaphragma) sich von dem erst später die Zellwände ausbildenden Sporenraum abgrenzen. In dem kleinzelligen Gewebe am Scheitel werden einige wenige Archegonien angelegt und zwar manchmal bereits, wenn die Spore noch nicht vom Prothalliumgewebe ganz ausgefüllt ist. Meist werden die Archegonien erst gebildet, wenn die Sporen aus dem Sporangium entleert sind.

Die Sporenwand platzt schließlich am Scheitel auf und das kleinzellige farblose Prothallium tritt etwas hervor und bildet auch einige Rhizoiden. Es erfolgt dann die Befruchtung von ein oder zwei Archegonien und die direkte Weiterentwicklung der befruchteten Eizellen zum Embryo (Fig 394).

In der Entwicklung des Embryo erinnert Selaginella mit einigen Unterschieden am meisten an Lycopodium. Das Ei teilt sich durch eine Querwand in zwei Zellen und die obere derselben vergrößert sich stark, geht in ihrer unteren Partie noch einige Teilungen ein und wird auch hier zu dem Embryoträger oder Suspensor (Fig. 395 *et*),

während aus der unteren Zelle durch weitere Teilungen der sich in das erste Blattpaar, den Stammscheitel, Wurzel und Fuß gliedernde Embryo hervorgeht (*w*, *f*, *bl*, *st*). Der Fuß hat hier eine andere Lage als bei Lycopodium. Schon an dem ersten Blattpaar treten die Ligulargebilde als Aussprossungen der Blattbasis auf (*lig*).

Der Embryoträger steht senkrecht zur Achse des Keimlings und dient dazu, den sich entwickelnden Embryo in das Prothalliumgewebe, aus dem er seine Nährstoffe mittels des Fußes bezieht, vorzuschieben. Schließlich wächst der Sproßscheitel mit dem ersten Blattpaar nach oben, die Wurzel nach unten aus der Makrospore hervor; die junge Keimpflanze bleibt mit dem Fuß in dem Prothalliumgewebe derselben stecken, so daß das Ganze den Eindruck eines keimenden Phanerogamensamens hervorruft (Fig. 391 *B*).

3. Ordnung. Isoëtaceae(75).

Hierher gehört nur die isoliert stehende Gattung *Isoëtes*, Brachsenkraut, die als selbständiger Zweig der in früheren Erdperioden viel formenreicheren Klasse anzusehen ist, übrigens auch einige Beziehungen zu den eusporangiaten Filices aufweist. Die Isoëtes-Arten sind teils untergetauchte, teils auf feuchtem Boden lebende perennierende Kräuter mit knolliger gestauchter, selten dichotom gegabelter Achse, die nach unten ein Büschel von dichotom sich gabelnden Wurzeln, nach oben eine dichte Rosette von langen pfriemförmigen, steifen, von vier Luftkanälen durchzogenen Blättern trägt (Fig. 396). Die Blätter verbreitern sich am Grunde zu einer breiten Scheide und sind an der Innenseite über der Insertion mit einer länglichen grubenartigen Vertiefung, der Fovea, versehen, auf deren Grunde ein einziges sitzendes großes Sporangium erzeugt wird. Über der Fovea ist die Ligula als dreieckiges Häutchen mit eingesenkter Basis inseriert. Im Habitus weicht also Isoëtes von den übrigen Gattungen bedeutend ab, mit Selaginella ist ihr die Ligula gemeinsam.

Die Makrosporangien sitzen an den äußeren Blättern der Rosette, die ihnen ähnlichen Mikrosporangien an den inneren. Beide sind hier von querverlaufenden sterilen Gewebesträngen durchsetzt und unvollständig gefächert. Die Sporen werden erst durch Verwesung der Behälter frei.

Die Entwicklung der geschlechtlichen Generation geschieht in ähnlicher Weise wie bei Selaginella. Das reduzierte männliche Prothallium entwickelt sich bereits in der Spore. Es wird auch hier die Sporenzelle in eine kleine linsenförmige Prothalliumzelle und eine größere, als Anlage eines einzigen Antheridiums, zerlegt. Die große Zelle teilt sich weiter in vier sterile Wandzellen, welche allseitig zwei centrale spermatogene Zellen umschließen. Aus jeder der letzteren entstehen zwei Spermatozoidmutterzellen, im ganzen also vier, die nun nach dem Aufplatzen der Sporenhülle nach außen gelangen und die spiralig gewundenen, mit Anhang versehenen und am vorderen Ende mit einem Cilienbüschel besetzten Samenfäden entlassen. Wie bei Selaginella bleibt auch hier das weibliche Prothallium in der Makrospore eingeschlossen und ist nicht zu selbständigem Wachstum befähigt. In seiner Bildung zeigt es wie bei Selaginella Annäherung an die Koniferen, indem zunächst der Kern der Makrospore in zahlreiche freie wandständige Tochterkerne sich teilt, bevor die Zellwände, vom Scheitel der Spore zur Basis längs der Wandung fortschreitend, angelegt werden. Die ganze Spore wird so mit einem Prothallium erfüllt, an dessen Scheitel die Archegonien zur Entwicklung kommen. Der Embryo besitzt keinen Embryoträger. Im Bau des Embryos und der Spermatozoiden entfernt sich Isoëtes von den übrigen Lycopodineen.

Die fossilen Kryptogamen(76).

Die aus früheren Erdperioden in fossilem Zustand erhaltenen Reste von Kryptogamen geben uns über die phylogenetischen Beziehungen der Klassen der Thallophyten und Bryophyten keinerlei Aufschluß. Verbindende Formen zwischen Algen und Moosen wie auch zwischen Moosen und Pteridophyten sind bis jetzt nicht nachgewiesen worden; dahingegen hat die Phytopaläontologie uns mit interessanten, schon frühzeitig ausgestorbenen Typen der Pteridophyten bekannt gemacht, welche das System der jetzt

lebenden Farne, Schachtelhalme und Bärlappe wesentlich ergänzen und zum Teil auch den Übergang von den Farnen zu den Gymnospermen vermitteln.

I. Weitaus die meisten ***Thallophyten*** sind infolge ihrer zarten Struktur zu fossiler Erhaltung überhaupt nicht geeignet. Aus dem Mangel von Resten mancher Thallophytenklassen in älteren Schichten ist also der Schluß auf die damalige Nichtexistenz derselben nicht zulässig. Reste von Algen unbestimmbarer Verwandtschaft sind schon im Silur gefunden. Unter den Algenresten lassen sich am sichersten, dank ihrer guten Erhaltung, die zu den *Siphoneen* gehörigen Kalkalgen bestimmen, von denen man zahlreiche Formen aus dem Tertiär, bis hinab zum Silur, nachgewiesen hat, während die mit Kalk inkrustierten *Corallineen*, zu den Rotalgen gehörend, vom oberen Jura aufwärts erscheinen. Unter den einzelligen Algen sind die mit verkieselter Membran versehenen *Diatomeen* ebenfalls gut erhalten, vom Jura an aufwärts, besonders in Kreide und Tertiär oft in mächtigen Lagern von Kieselguhr vertreten, und sämtlich noch jetzt lebenden Gattungen angehörend. Die *Characeen* erscheinen ziemlich häufig vom Tertiär ab, und gehen hinab in einzelnen Resten bis zum Muschelkalk. Die meisten jetzt lebenden Algensippen sind erst vom Tertiär an sicher nachweisbar.

Bakterien dürften seit den ältesten Zeiten ihre Zersetzungsarbeit an organischen Substanzen verrichtet haben und konnten zum Beispiel in Pflanzenresten aus dem Karbon erkannt werden. Auch die *Hyphomyceten* und wahrscheinlich auch die *Myxomyceten* waren im Karbon schon vertreten; so sind *Ascomyceten* an Blättern und Stämmen in allen Schichten vom Karbon an gefunden. Reste von Lichenen, *Flechten* jetzt noch lebender Gattungen erscheinen im Tertiär.

II. Von ***Bryophyten*** entstammen die meisten der im allgemeinen sparsam fossil erhaltenen Formen dem Tertiär und zeigen die größte Ähnlickeit mit recenten Gattungen. Nur vereinzelte Reste von Leber- und Laubmoosen fanden sich in älteren Schichten, im Jura, in der oberen Trias.

III. Die ***Pteridophyten*** reichen in der Reihe der Formationen bis in das Silur zurück, herrschten im Karbon vor, indem sie die Hauptmasse der Landvegetation der Steinkohlenflora lieferten, und traten dann weiterhin zurück gegenüber den höheren Stufen der Gymnospermen und schließlich der Angiospermen.

1. Die Klasse der ***Filicinae*** ist in der Ordnung der *Filices*, Farnkräuter, schon vor dem Ende des Silurs und besonders reich im Karbon vertreten. Sie zeigten in den paläozoischen Schichten bereits im wesentlichen dieselbe Organisation; die meisten der heute lebenden Familien waren vertreten, und einzelne derselben (z. B. die *Marattiaceen*) sogar in größerem Artenreichtum. Aus den Filicinen, welche gegen die übrigen Klassen scharf abgesetzt sind, dürften durch Vermittlung der allerdings fast nur in ihren vegetativen Organen bekannten *Cycadofilices*, Farn-ähnlichen Gewächsen mit sekundärem Dickenwachstum der Gefäßbündel, die Phanerogamen, zunächst die Cycadaceen hervorgegangen sein, während die übrigen Klassen der Pteridophyten keine Weiterbildung zu höheren Stufen erfuhren.

Die *Wasserfarne* sind mit Sicherheit meist erst im Tertiär nachweisbar, *Salvinia* und *Marsilia* lassen sich aber auch bis in die Kreide zurückverfolgen.

2. Die Klasse der ***Equisetinae***, heute nur noch in der einzigen, bis in die Trias zurückreichende Gattung *Equisetum* verteten, war im Paläozoicum sehr reich entwickelt in der großen, besonders im Karbon sehr häufigen Ordnung der *Calamarieen*, habituell den Schachtelhalmen ähnliche, in einzelnen Arten wohl bis 30 m hohe baumartige Gewächse, deren mit Periderm bedeckte, hohle, monopodial quirlig verzweigte Stämme (*Calamites*) sekundäres Dickenwachstum aufwiesen. Ihre Blätter (*Annularia*) standen in abwechselnden Quirlen, waren schmallanzettlich, anfangs zu einer Scheide verbunden, später sich trennend, und in dem ältesten Typus *Archaeocalamites* noch dichotom geteilt. Die Sporangienstände oder Blüten (*Calamostachys*) hatten teils denselben Bau wie Equisetum, bei den meisten aber komplizierteren, indem sie sich aus abwechselnden Quirlen von Schuppenblättern und Sporophyllen zusammensetzten. Interessant ist die Tatsache, daß die Calamarieen, z. T. wenigstens, hetorospor waren.

3. Auch die Klasse ***Lycopodinae*** war in den paläozoischen Epochen ungemein reich vertreten und zwar in erster Linie in den zwei großen ausgestorbenen Ordnungen der *Sigillarieen* und der *Lepidodendreen*. Die *Sigallarieen* sind vom Kulm ab gefunden, im Karbon am artenreichsten und reichen mit einer Art noch in den Buntsandstein hinein. Es waren stattliche baumartige Gewächse mit mächtigen in die Dicke wachsenden säulen-

förmigen, meist einfachen oder nur wenig gegabelten Stämmen, oben mit langen pfriemlichen Blättern versehen, am Schafte bedeckt mit den Längszeilen seckseckiger Blattnarben, mit stammbürtigen, langgestielten zapfenförmigen Blüten, deren Sporangien nur einerlei Sporen enthielten.

Die *Lepidodendreen*, vom Unterdevon bis in das Rotliegende, besonders aber im Karbon verbreitet, waren ebenfalls baumartige Pflanzen, aber mit dichotom verzweigten rhombisch gefelderten, in die Dicke wachsenden Stämmen, an denen oben die meist spiralig angeordneten, schmalen, bis 15 cm langen Blätter auf rhombischen Blattkissen saßen. Die zapfenförmigen Blüten (*Lepidostrobus*) entsprangen endständig oder am Stamme selbst und enthielten Makro- und Mikrosporangien, je eins auf jedem Sporophyll.

Schon im Karbon waren aber auch krautige Lycopodiaceen vorhanden, die Vorläufer der heutigen *Lycopodium*-Arten, während *Isoëtes* erst aus der unteren Kreide sicher bekannt wurde.

4. Die kleine Klasse der ***Sphenophyllinae,*** welche vom Devon bis Perm vertreten war, dann aber ausstarb, hat insofern ein besonderes phylogenetisches Interesse, als sie eine vermittelnde Stellung zwischen Lycopodinen und Equisetinen einnimmt und vielleicht den gemeinsamen Ausgangsformen dieser drei Gruppen am meisten sich nähert, besonders in dem ältesten Typus *Cheirostrobus* aus den untersten Karbonschichten, deren Blüten sehr komplizierten Bau besaßen und am ehesten an die Kalamarienblüten erinnern, während im anatomischen Verhalten dieser Gattung eine Annäherung an Lepidodendron zu konstatieren ist.

Die *Sphenophyllum*-Arten waren langstengelige Pflanzen mit superponierten Quirlen keilförmiger oder gabelig geteilter Blätter, mit ziemlich großen ährenförmigen endständigen Equisetum-ähnlichen Blüten, deren Sporophylle zwei oder drei homospore Sporangien trugen. Man hat diese Gewächse als schwimmende Wasserflanzen betrachtet, indessen weist die Struktur des dünnen langen Stengels mit seinem axilen dreistrahligen, sekundär verdickten Xylem eher auf kletternde Landpflanzen hin.

Zweite Abteilung.

Phanerogamen.

Nur aus Gründen äußerer Art ist die Einteilung des Pflanzenreiches in Kryptogamen und Phanerogamen hier beibehalten. Längst mußte die feste Scheidewand, welche sie zu trennen schien, der Erkenntnis weichen, daß die Phanerogamen eine Fortsetzung der heterosporen Gefäßkryptogamen sind; eine Erkenntnis, die wir in erster Linie W. HOFMEISTER (1) verdanken.

Die wesentliche, allen Moosen und Farnpflanzen gemeinsame Eigentümlichkeit trat uns in dem Generationswechsel (S. 333) entgegen, der als notwendiges Glied in den Entwicklungsgang der Archegoniaten eingeschaltet, stete Abwechslung einer Geschlechtsgeneration mit einer ungeschlechtlichen bedingt. Während jedoch bei den Moosen die Geschlechtsgeneration, das Moospflänzchen schlechthin, allein zu selbständigem Leben befähigt war, sehen wir sie als Prothallium bei den Farnpflanzen schon eine unscheinbarere Gestalt annehmen. Die ungeschlechtliche dagegen, bei den Moosen ein zeitlebens von der Moospflanze abhängiges Sporogonium, ist hier selbständig geworden. Sie tritt als stattliche Pflanze, als Farn, Schachtelhalm usw. auf, bringt Blätter hervor und auf diesen oder einigen von ihnen — den Sporophyllen — die Sporangien. Eine Vereinigung mehrerer Sporophylle an einem Sproß, der daneben auch andere als Hülle oder dergl. dienende Blätter zu tragen pflegt, bezeichnet man als Blüte. So bietet Equisetum (Fig. 387, S. 359) ein gutes Beispiel einer einfach gebauten Blüte mit nur einer Art von Sporophyllen dar.

Mit dem Auftreten der Heterosporie (S. 348) ist der Geschlechtsgeneration plötzlich eine ihrer wichtigsten Aufgaben, die Geschlechtsdifferenzierung, entzogen und auf die ungeschlechtliche Generation übergegangen. Diese bringt jetzt männliche Sporangien oder Mikrosporangien und weibliche Makrosporangien hervor. Die Tätigkeit der Geschlechtsgeneration wird also auf die Ausbildung der jeweiligen Sexualorgane beschränkt und sie erleidet damit eine weitere erhebliche Rückbildung. Die männlichen Prothallien gehen fast vollständig in der Antheridienbildung auf, nur einzelne vegetative Prothalliumzellen findet man bei der Keimung der Mikrosporen erhalten; die weiblichen, bei Salvinia noch ergrünend und aus der Makrospore austretend, haben bei Selaginella und Isoëtes die Fähigkeit, sich selbsttätig zu ernähren, verloren. Sie beginnen ihre Entwicklung bereits innerhalb des mütterlichen Makrosporangiums und die frei gewordenen Makrosporen öffnen sich schließlich nur, um den Spermatozoiden Zugang zu den scheitelständigen Archegonien zu gewähren.

In der Reihe der Farnpflanzen ist also eine Zurückdrängung der Geschlechtsgeneration leicht zu verfolgen, sie wird bei den sich unmittelbar anschließenden Phanerogamen weiter fortgesetzt (2).

Die Makrospore, hier von alters her als Embryosack bezeichnet, bleibt stets im Makrosporangium, der Samenanlage, eingeschlossen. Diese besteht aus dem Nucellus und einer oder zwei von seinem Grunde,

der Chalaza aus, rings emporgewachsenen Hüllen, den Integumenten, welche nur über dem Nucellusscheitel einen schmalen Zugang, die Mikropyle, freilassen. Mit einem oft sehr kurzen Stiele, dem Funiculus, ist ein solches Makrosporangium dem Sporophyll, hier Makrosporophyll oder Fruchtblatt, angefügt. Die Ansatzstelle einer oder mehrerer Samenanlagen trägt den Namen Placenta. Ist der Nucellus die geradlinige Fortsetzung des Funiculus, so nennt man die Samenanlage gerade, atrop. Sehr viel häufiger erleidet der Funiculus unterhalb der Chalaza eine scharfe Krümmung, so daß die Samenanlage mit dem äußeren Integumente an ihm entlang zurückläuft; die Samenanlage ist dann umgewendet, anatrop. Die in solchem Falle noch am reifen Samen kenntliche Verwachsungslinie von Funiculus und äußerem Integument heißt die Samennaht oder Raphe. Endlich kann die Samenanlage selbst gekrümmt sein, man spricht dann von einer campylotropen Samenanlage. Fig. 397 *A*—*C* stellt diese drei Fälle schematisch dar.

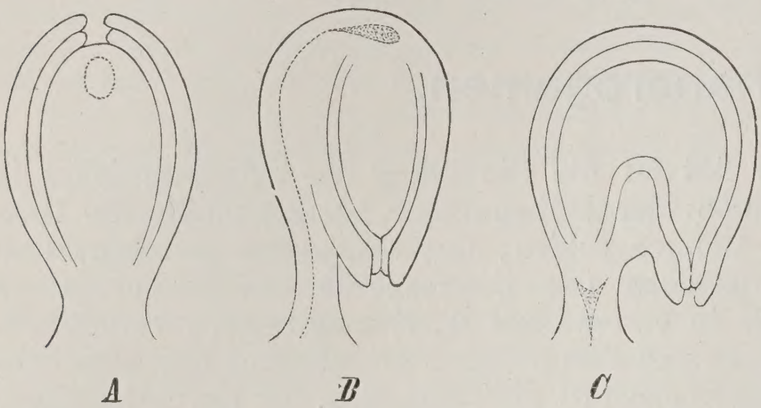


Fig. 397. *A* atrope, *B* anatrope, *C* campylotrope Samenanlage. Schematisch und vergrößert.

Innerhalb einer solchen Samenanlage findet sich nun in der Regel ein einzelner Embryosack vor. Wie im Makrosporangium von Selaginella durch Tetradenteilung vier Makrosporen entstanden, so sind auch im Makrosporangium (Samenanlage) der Phanerogamen zunächst von der meist in Einzahl vorhandenen Embryosackmutterzelle vier Tochterzellen gebildet worden, von denen aber drei zu Grunde gehen, während die vierte zur Makrospore,

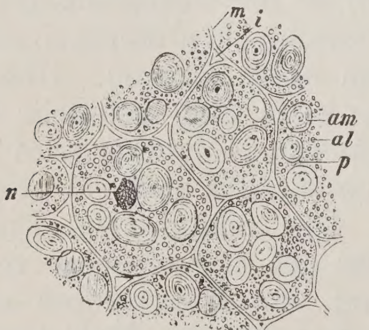


Fig. 398. Zellen der Keimblätter der Erbse mit Reservestoffen, *am* Stärkekörner, *al* Aleuronkörner, *p* Protoplasma, *n* Zellkern. Vergr. 160.

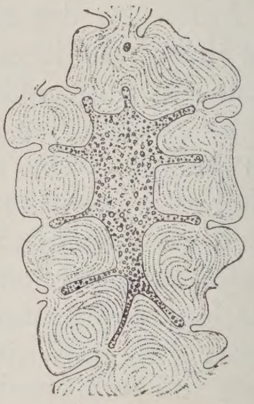


Fig. 399. Endospermzelle von Phytelephas macrocarpa mit Reservecellulose. Vergr. 225.

dem Embryosacke, wird. In einer bei den verschiedenen Klassen der Phanerogamen verschiedenen Weise wird die Prothallium-(Endosperm)anlage und Archegonien-(Eizellen)bildung vorgenommen. Die befruchtete Eizelle wächst zum Keim oder Embryo noch innerhalb der Makrospore und auf Kosten der Mutterpflanze heran. Erst nachdem der Embryo eine bei den verschiedenen Pflanzen verschieden hohe, aber für die betreffende Art

charakteristische Stufe der Entwicklung erreicht hat, stellt er das Wachstum ein und geht nach Trennung von der Mutterpflanze einer Ruheperiode entgegen. Er ist von den entsprechend entwickelten und in ihrer Ausbildung ihm angepaßten übrigen Teilen des Makrosporangiums umgeben, nämlich dem Prothallium oder Endosperm, dem Nucellus (falls noch vorhanden) und der aus den Integumenten hervorgegangenen Schale. Das ganze aus der Samenanlage entstandene Gebilde wird Samen genannt. Diese Weiterentwicklung des geschlossenen Makrosporangiums zum Samen ist für alle Phanerogamen charakteristisch; sie können daher auch sehr bezeichnend als Samenpflanzen, Spermaphyten den samenlosen Kryptogamen gegenübergestellt werden.

Die einzelnen Teile des reifen Samens sind also der Embryo, das ihn umgebende Prothallium oder Endosperm, ein etwa vorhandener Rest des Nucellus, als Perisperm von jenem unterschieden, und die Samenschale. Endosperm und Perisperm stellen das Nährgewebe dar. Seine Zellen sind mit Stärke, Eiweißstoffen, fettem Öl oder anderen Reservestoffen (Fig. 398, 399) vollgepfropft — auch in Form stark verdickter Wände ge-

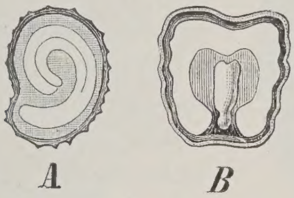


Fig. 400. *A* Samen von Hyoscyamus niger. Der dikotyle Keim in Endosperm eingebettet. *B* Samen von Elettaria Cardamomum. Innerhalb der dunklen, von einem dünnen Arillus umhüllten Samenschale liegt zunächst weißes mehliges Perisperm, dann (schraffiert) ein öliges Endosperm und in der Mitte der monokotyle Keim. (Nach Berg und Schmidt.)

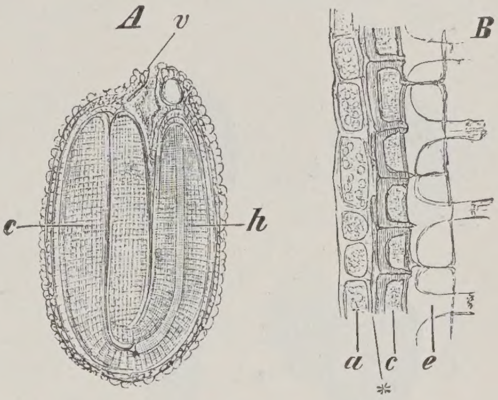


Fig. 401. Capsella bursa pastoris. *A* Längsschnitt durch den reifen Samen, *h* hypokotyles Glied, *c* Kotyledonen, *v* Gefäßbündel des Funiculus. Vergr. 26. *B* Partie aus dem Längsschnitt durch die Samenschale nach Einwirkung von Wasser, *e* die gequollene Epidermis, *c* braun gefärbte, stark verdickte Schicht, * zerdrückte Zellschichten, *a* Aleuronkörner. Vergr. 240.

speicherte Cellulose kann als Reservestoff dienen —, die, wenn der Samen nach Ablauf einer Ruheperiode in die Keimung eintritt, zur Ernährung der jungen Pflanze bestimmt sind, bis sie im stande ist, sich selbst zu ernähren. Dabei muß erwähnt werden, daß meist der Nucellus vom Endosperm bereits völlig verdrängt wurde, daß daher Perisperm nur in selteneren Fällen im Samen nachgewiesen werden kann (Fig. 400). Häufig findet sich aber auch ein Endosperm nicht mehr vor, wenn nämlich der Embryo selbst die Speicherung der Reservestoffe in seinem ganzen Körper (Fig. 401) oder in seinen fleischig angeschwollenen Keimblättern, den Kotyledonen, übernommen hat.

Die Samenschale endlich ist außerordentlich verschieden, stets aber so gebaut, daß sie den umschlossenen zarteren Teilen Schutz gegen Austrocknen oder andere Gefahren zu bieten vermag; sie führt daher stark verdickte oder verkorkte Zellagen. Äußerlich läßt sie die Narbe des Funiculus erkennen, welche als Nabel oder Hilum bezeichnet wird; ebenso ist die Mikropyle und bei anatropen Samen, Hilum und Chalaza verbindend, die Raphe kenntlich, jene bereits genannte Verwachsungslinie des Funiculus mit dem Integumente. Bisweilen entsteht am Funiculus älterer Samenanlagen ein Samen-

mantel oder Arillus, ein fleischiges, meist lebhaft gefärbtes Gebilde, das zur Samenverbreitung durch Tiere in Beziehung steht. Einen der Mikropyle benachbarten Auswuchs einiger Samen, vor allem der Euphorbiaceen, nennt man Caruncula (Fig. 402, 403).

Doch nicht auf die Makrosporangien allein erstrecken sich die Folgen der Befruchtung, auch die Makrosporophylle, die Fruchtblätter, werden in Mitleidenschaft gezogen. Das aus ihnen, oft unter Mitwirkung des noch erhaltenen Kelches und der Blütenachse hervorgehende, außerordentlich verschieden gestaltete Gebilde, welches vor allem die Bedeutung hat, den in Entwicklung begriffenen Samenanlagen Schutz zu gewähren, heißt die Frucht. Ihre verschiedenen Formen werden bei der speziellen Besprechung der Klassen und Ordnungen vielfache Erwähnung erfahren müssen.

Endlich ist hier noch kurz der Keimung zu gedenken, d. h. der Wiederaufnahme der Entwicklung im Samen nach Abschluß der Ruheperiode. Hauptbedingung dafür ist Wasseraufnahme. Der Embryo beginnt alsdann

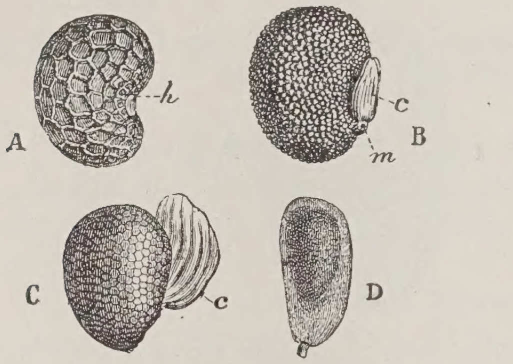


Fig. 402. *A* Samen von Papaver Rhoeas, *h* Hilum. *B* Samen von Corydalis ochroleuca, *m* Mikropyle, *c* Caruncula. *C* Samen von Chelidonium majus. *D* Samen von Nymphaea alba mit Samenmantel (Arillus). (Nach DUCHARTRE.)

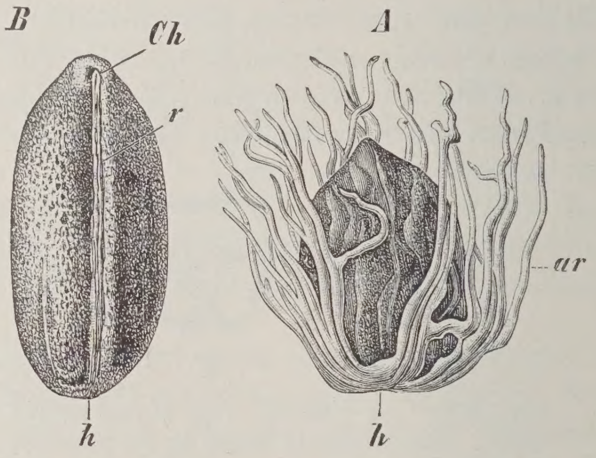


Fig. 403. *A* Myristica fragrans. Samen mit etwas gelöstem Arillus *ar*. *B* Myristica argentea. Samen nach Entfernung des Arillus. *h* Hilum (Nabel), *Ch* Chalaza, *r* Raphe. $^3/_4$ nat. Gr. (Nach WARBURG.)

das solange völlig eingestellte Wachstum von neuem, sprengt die Samenschale und treibt das Würzelchen in den Boden. Nachdem dort hinreichende Befestigung erzielt ist, werden die Kotyledonen aus der Samenschale befreit und im Lichte ausgebreitet, oder falls sie, wie z. B. bei Erbsen, Roßkastanien usw., in der Samenschale verbleiben, wird auf Kosten ihrer Reservestoffe die Plumula, d. h. der junge Hauptsproß, zu schneller Entwicklung gebracht (vgl. Fig. 52, S. 42 und S. 260).

Mit dieser kurzen Entwicklungsskizze der weiblichen Sexualgeneration der Phanerogamen ist nun diejenige der männlichen zu vergleichen!

Die Mikrosporen der Samenpflanzen werden meist als Pollenkörner bezeichnet. Sie entstehen in großer Anzahl in ihren Mikrosporangien oder Pollensäcken, die einzeln oder in Mehrzahl von den Mikrosporophyllen, Staubblättern (Stamina), hervorgebracht werden. Den Pollensäcke führenden, meist schon äußerlich kenntlichen Teil der Staubblätter nennt man Anthere.

Die Bildung der Mikrosporen gleicht jener der Pteridophytensporen (Fig. 404). Durch der Oberfläche parallel gehende Teilungen einer auf die Epidermis folgenden Zellschicht wird die Bildung des sporogenen Gewebes eingeleitet. Die äußere Lage gibt die Sporangienwandung, die innere

liefert nach Abgabe der Tapetenzellen in weiteren Teilungen die Pollenmutterzellen, deren jede vier Pollenkörner bildet. Sie sind kugelig-ovale Körper und werden von einer Membran umhüllt, die eine äußere cutinisierte Exine und eine aus pektinreicher Cellulose bestehende Intine erkennen läßt.

Für die Beförderung der Pollenkörner zu den Eizellen ist bei den Samenpflanzen der Wind oder Beihilfe von Tieren in Anspruch genommen, während alle Archegoniaten sich des Wassers als Transportmittel ihrer männlichen Sexualzellen bedienten. Soweit nun auch die Rückbildung des männlichen Prothalliums gediehen sein mag, — schon bei den heterosporen Farnen waren ja nur einzelne sterile Zellen übrig geblieben — stets sind bei der Keimung des an den Ort seiner Bestimmung gelangten Pollenkornes zwei Bestandteile zu beobachten: eine zu einem langen Schlauch auswachsende vegetative Zelle, der Pollenschlauch, der von der Intine umgeben und, nach Durchbrechung der Exine in das Gewebe des Makrosporangiums eindringend, durch chemotropische Reizbarkeit (vgl. S. 233) zu den Eizellen geleitet wird; und eine Antheridium-Mutterzelle, die in den Pollenschlauch einwandert und dort früher oder später zwei generative Zellen bildet, welche im Schlauche entlang gleitend zum Embryosack und Eizelle gelangen. Nach diesem allen Phanerogamen zukommenden Merkmal der Pollenschlauchbildung hat man die Samenpflanzen auch Siphonogamen genannt.

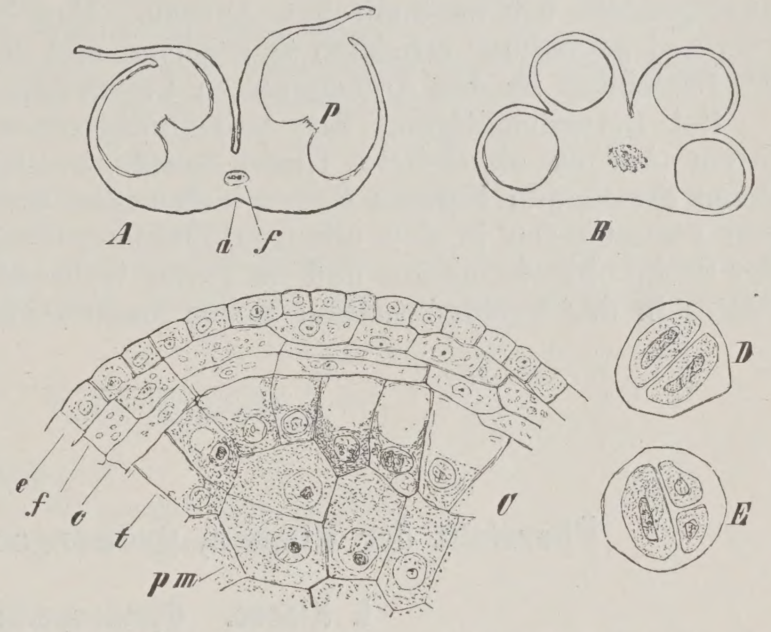


Fig. 404. Hemerocallis fulva. *A* Querschnitt durch eine fast reife Anthere, mit den durch den Schnitt geöffneten Fächern, *p* die Scheidewand zwischen den Fächern, *a* Furche am Konnektiv, *f* Gefäßbündel. Vergr. 14. *B* Querschnitt durch eine junge Anthere. Vergr. 28. *C* Teil des Querschnittes aus einem Fache, *e* Epidermis, *f* die spätere Faserschicht, *c* später verdrängte Wandschicht, *t* die sich später auflösende Tapetenschicht, *pm* Pollenmutterzellen. *D* und *E* geteilte Pollenmutterzellen. Vergr. 240.

Das Ergebnis dieser einleitenden Vorbemerkungen läßt sich also dahin zusammenfassen, daß die Phanerogamen die Reihe der Archegoniaten fortsetzen und ihnen im Besitze eines Generationswechsels gleichen. Die immer reicher und mannigfaltiger werdende Gestaltung und Ausgliederung der ungeschlechtlichen Generation geht mit einer fortschreitenden Rückbildung der Geschlechtsgeneration Hand in Hand. Jene hält die weibliche Geschlechtsgeneration während ihrer ganzen Entwicklung fest eingeschlossen und entläßt sie erst nach deren Abschluß als Samen, welcher im Embryo den Beginn der nächsten ungeschlechtlichen Generation in sich birgt.

Die Samenpflanzen zerfallen nun in zwei Klassen(3), die ihrem ganzen Aufbau nach wesentlich verschieden sind: 1. die Gymnospermen oder nacktsamigen Pflanzen; 2. die Angiospermen oder bedecktsamigen Pflanzen.

Diese Bezeichnung drückt einen der am meisten ins Auge fallenden

Unterschiede aus. Die Fruchtblätter der Angiospermen treten zur Bildung geschlossener Hohlräume, der Fruchtknoten, zusammen, in denen die Samenanlagen sich entwickeln; die Gymnospermen entbehren solcher Fruchtknoten, sie tragen die Samenanlagen frei auf ihren Fruchtblättern.

Die Gymnospermen sind die phylogenetisch älteren Pflanzenformen; sie sind einfacher gebaut und schließen im Verhalten ihrer Geschlechtsgeneration unmittelbar an die heterosporen Archegoniaten an, ja müßten vielleicht am besten selber noch als Archegoniaten bezeichnet werden.

Die Angiospermen zeigen eine viel größere Mannigfaltigkeit im morphologischen wie anatomischen Aufbau. Ihre Entwicklung ist den Gymnospermen gegenüber erheblich abweichend und ließe ohne diese Zwischenstufe die Beziehung zu den Archegoniaten keinenfalls mehr so deutlich erkennen.

Bei Berücksichtigung der paläontologischen Befunde wird dieses aus ihrem Aufbau abgeleitete Urteil bestätigt. Gymnospermen-ähnliche oder ihnen gleichende Formen finden sich neben anscheinenden Übergängen von den Farnpflanzen in den pflanzenführenden Gesteinsschichten des Devon, in der Steinkohlenformation und im Perm, während die Angiospermen erst viel später in der Kreideformation sicher nachweisbar werden.

Übersicht der Klassen, Ordnungen und Familien.

I. Klasse. Gymnospermae.

1. *Cycadinae*: Fam. Cycadaceae.
2. *Ginkgoinae*: Fam. Ginkgoaceae.
3. *Coniferae*: Fam. Taxaceae, Pinaceae.
4. *Gnetinae*: Fam. Gnetaceae.

II. Klasse. Angiospermae.

Unterklasse A. Monocotylae.

1. *Helobiae*: Fam. Alismaceae. Juncaginaceae. Potamogetonaceae. Najadaceae. Hydrocharitaceae.
2. *Glumiflorae*: Fam. Cyperaceae. Gramineae.
3. *Spadiciflorae*: Fam. Typhaceae. Sparganiaceae. Pandanaceae. Palmae. Araceae. Lemnaceae.
4. *Enantioblastae*: Fam. Commelinaceae.
5. *Liliiflorae*: Fam. Juncaceae. Liliaceae. Amaryllidaceae. Iridaceae. Dioscoreaceae. Bromeliaceae.
6. *Scitamineae*: Fam. Musaceae. Zingiberaceae. Cannaceae. Marantaceae.
7. *Gynandrae*: Fam. Orchidaceae.

Unterklasse B. Dicotylae.

a) Choripetalae.

1. *Piperinae*: Fam. Piperaceae.
2. *Amentiflorae*: Fam. Casuarinaceae. Juglandaceae. Myricaceae. Salicaceae. Betulaceae. Cupuliferae.
3. *Urticinae*: Fam. Ulmaceae. Moraceae. Cannabinaceae. Urticaceae.
4. *Centrospermae*: Fam. Polygonaceae. Chenopodiaceae. Caryophyllaceae.

5. *Polycarpicae*: Fam. Nymphaeaceae. Ceratophyllaceae. Ranunculaceae. Magnoliaceae. Anonaceae. Myristicaceae. Menispermaceae. Berberidaceae. Lauraceae.
6. *Rhoeadinae*: Fam. Papaveraceae. Cruciferae. Capparidaceae. Resedaceae.
7. *Insectivorae*: Fam. Sarraceniaceae. Nepenthaceae. Droseraceae.
8. *Saxifraginae*: Fam. Crassulaceae. Saxifragaceae. Hamamelidaceae.
9. *Rosiflorae*: Fam. Rosaceae.
10. *Leguminosae*: Fam. Mimosaceae. Caesalpiniaceae. Papilionaceae.
11. *Gruinales*: Fam. Geraniaceae. Oxalidaceae. Linaceae. Balsaminaceae. Erythroxylaceae. Zygophyllaceae. Rutaceae. Simarubaceae. Burseraceae. Polygalaceae.
12. *Tricoccae*: Fam. Euphorbiaceae. Callitrichaceae.
13. *Sapindinae*: Fam. Buxaceae. Anacardiaceae. Aquifoliaceae. Celastraceae. Aceraceae. Sapindaceae.
14. *Frangulinae*: Fam. Rhamnaceae. Vitaceae.
15. *Columniferae*: Fam. Tiliaceae. Sterculiaceae. Malvaceae.
16. *Cistiflorae*: Fam. Ternstroemiaceae. Guttiferae. Dipterocarpaceae. Cistaceae. Violaceae.
17. *Passiflorinae*: Fam. Passifloraceae. Caricaceae. Begoniaceae.
18. *Opuntinae*: Fam. Cactaceae.
19. *Thymelaeinae*: Fam. Thymelaeaceae. Elaeagnaceae.
20. *Myrtiflorae*: Fam. Lythraceae. Melastomaceae. Onagraceae. Halorrhagidaceae. Rhizophoraceae. Combretaceae. Myrtaceae. Punicaceae.
21. *Umbelliflorae*: Fam. Cornaceae. Araliaceae. Umbelliferae.
22. *Hysterophyta*: Fam. Aristolochiaceae. Santalaceae. Loranthaceae. Balanophoraceae. Rafflesiaceae.

b) Sympetalae.

α) Pentacyclicae.

1. *Ericinae*: Fam. Ericaceae. Pirolaceae.
2. *Diospyrinae*: Fam. Sapotaceae. Ebenaceae. Styracaceae.
3. *Primulinae*: Fam. Primulaceae. Plumbaginaceae.

β) Tetracyclicae.

4. *Contortae*: Fam. Oleaceae. Loganiaceae. Gentianaceae. Apocynaceae. Asclepiadaceae.
5. *Tubiflorae*: Fam. Convolvulaceae. Polemoniaceae. Hydrophyllaceae. Boraginaceae. Verbenaceae. Labiatae.
6. *Personatae*: Fam. Solanaceae. Scrophulariaceae. Orobanchaceae. Bignoniaceae. Gesneriaceae. Lentibulariaceae. Acanthaceae. Plantaginaceae.
7. *Rubiinae*: Fam. Rubiaceae. Caprifoliaceae. Valerianaceae.
8. *Campanulinae*: Fam. Campanulaceae. Lobeliaceae. Curcurbitaceae.
9. *Aggregatae*: Fam. Dipsacaceae. Compositae.

Erste Klasse.

Gymnospermae (4).

Übersicht über die Entwicklung der Geschlechtsgeneration.

Die Blüten der Gymnospermen sind stets eingeschlechtig, Makro- und Mikrosporophylle bleiben gesondert; letztere bilden die männlichen, erstere die weiblichen Blüten. Beide Geschlechter finden entweder auf einem Individuum Platz, die Pflanze ist einhäusig, monöcisch, oder die Sonderung geht soweit, daß jede Pflanze lediglich männliche oder weibliche Blüten trägt, die Art ist zweihäusig, diöcisch. Außer den Sporophyllen finden sich nur in wenigen Fällen andere, als Hülle dienende Blattformen in den Gymnospermenblüten vor.

Die männlichen Blüten der Gymnospermen stellen Sprosse begrenzten Längenwachstums dar, deren Achse mit Sporophyllen in meist spiraliger Anordnung dicht be-

setzt ist; die sie bis zur Entfaltung einhüllenden Knospenschuppen sind an der Basis oft noch vorhanden. Die Mikrosporangien stehen in Zwei- oder Mehrzahl auf der Unterseite der Sporophylle. Ihre Öffnung wird, wie bei den Sporangien der Pteridophyten, durch eigenartige Ausbildung meist der äußersten, als „Exothecium“ bezeichneten, Zellage ihrer Wandung herbeigeführt. Die Pollenkörner sind rundlich, häufig mit zwei

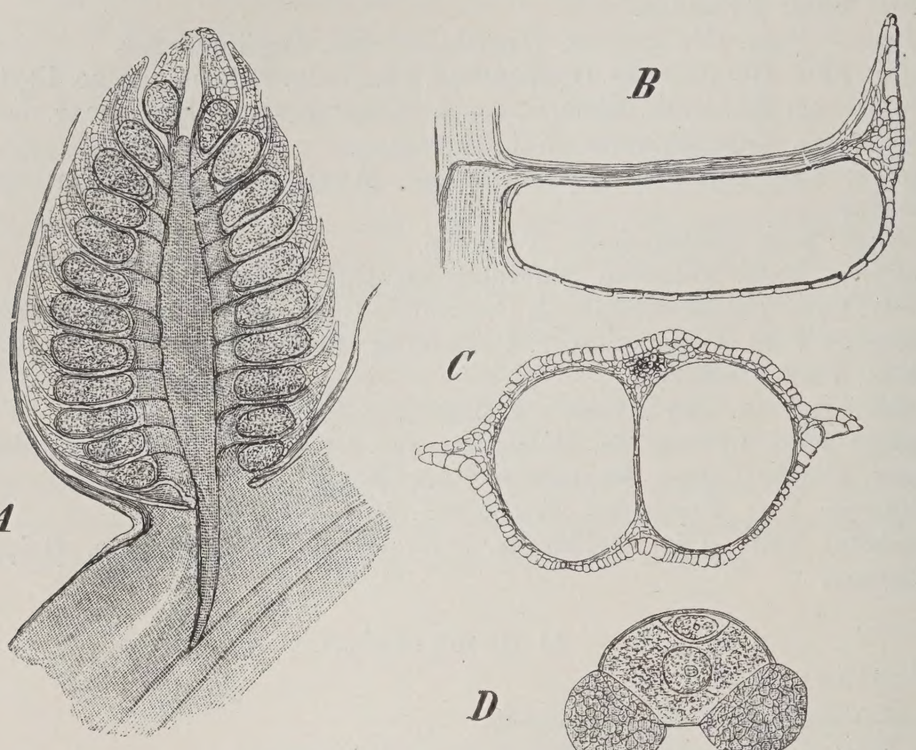


Fig. 405. Pinus montana. *A* Längsschnitt durch eine fast reife männliche Blüte. Vergr. 10. *B* Längsschnitt durch ein einzelnes Staubblatt. Vergr. 20. *C* Querschnitt durch ein Staubblatt. Vergr. 27. *D* ein reifes Pollenkorn von Pinus silvestris. Vergr. 400.

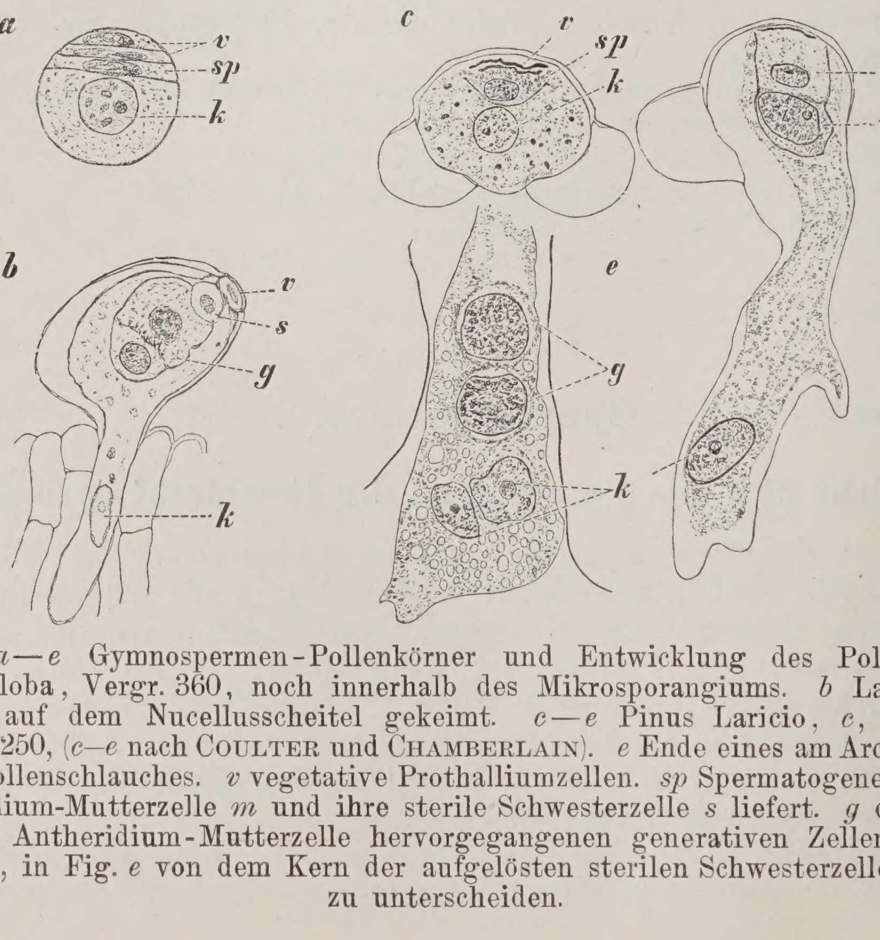


Fig. 406. *a—e* Gymnospermen-Pollenkörner und Entwicklung des Pollenschlauches. *a* Ginkgo biloba, Vergr. 360, noch innerhalb des Mikrosporangiums. *b* Larix europaea, Vergr. 160, auf dem Nucellusscheitel gekeimt. *c—e* Pinus Laricio, *c*, *d* Vergr. 300, *e* (Coulter) 250, (*c—e* nach Coulter und Chamberlain). *e* Ende eines am Archegonium angelangten Pollenschlauches. *v* vegetative Prothalliumzellen. *sp* Spermatogene Zelle, welche die Antheridium-Mutterzelle *m* und ihre sterile Schwesterzelle *s* liefert. *g* die beiden aus Teilung der Antheridium-Mutterzelle hervorgegangenen generativen Zellen. *k* Pollenschlauchkern, in Fig. *e* von dem Kern der aufgelösten sterilen Schwesterzelle nicht sicher zu unterscheiden.

Luftsäcken versehen, welche als Flugorgane ihre Verbreitung durch den Wind erleichtern (Fig. 405 *D*).

Die Keimung der Mikrosporen ergibt bei den Gymnospermen ein wenigzelliges Prothallium, das sich innerhalb der großen, später zum Pollenschlauch auswachsenden Zelle der Wand anlegt. Eine bis drei kleine Zellen setzen es zusammen. Die ältesten in Fig. 406 *a c* mit *v* bezeichneten stellen den Rest vegetativer Prothalliumzellen dar. Auf sie folgt als letzt abgegebene Zelle die spermatogene Zelle *sp*. Diese zerfällt früher oder später in die Mutterzelle des Antheridiums und eine sterile Schwesterzelle, die jene an die übrigen Zellen des Prothalliums anheftet (Fig. 406 *b d* [*s*]). Nur durch Auflösung ihrer sterilen Schwesterzelle kann die Antheridiummutterzelle frei werden und die Wanderung in den Pollenschlauch antreten. Sie bildet dabei oder schon vorher, solange sie noch festsitzt, zwei gleiche Tochterzellen (*g*), die generativen Zellen, oder die männlichen Geschlechtszellen (Fig. 406 *e*). Diese besitzen in den Ordnungen der Cycadinae und der Ginkgoinae die Form von Spermatozoiden, bei den übrigen Gymnospermen sind es glatte, der Cellulosehaut entbehrende Zellen.

Die weiblichen Blüten sind bei zahlreichen Gymnospermen den männlichen ähnlich, insofern auch sie aus einer Achse und zahlreichen in spiraliger Anordnung daran sitzenden Sporophyllen bestehen, also Zapfen darstellen. In anderen Fällen weichen sie aber auch wieder erheblich ab und zeigen überhaupt eine weit größere Mannigfaltigkeit, wie im speziellen Teile des näheren zu erörtern sein wird.

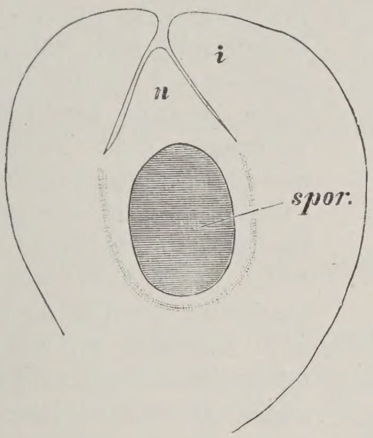


Fig. 407. Ceratozamia longifolia. Längsschnitt durch einen jungen Nucellus *n* mit Integument *i* und einem großen sporogenen Gewebekomplex *spor*. (Nach Treub.) Vergr. 33.

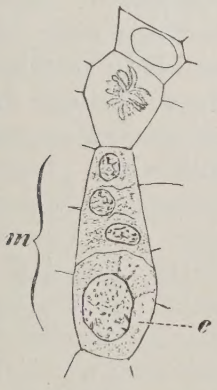


Fig. 408. Pinus Laricio. Längsschnitt durch das sporogene Gewebe mit einer Embryosack-Mutterzelle *m*, welche nach stattgehabter Tetradenteilung drei ihrer fakultativen Makrosporen verkümmern läßt zu gunsten der vierten sich entwickelnden *e*. (Nach Coulter und Chamberlain.) Vgr. 444.

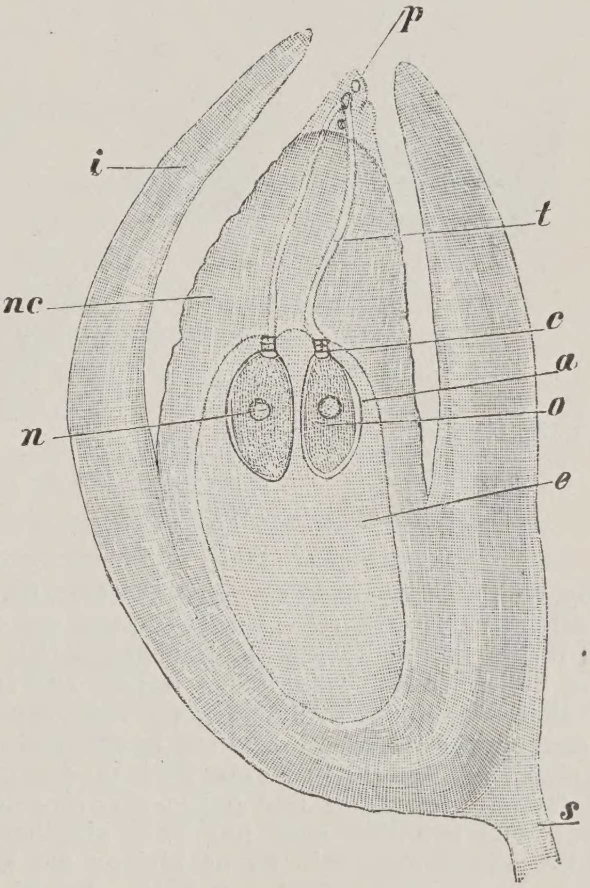


Fig. 409. Medianer Längsschnitt durch die empfängnisreife Samenanlage von Picea excelsa, Vergr. 9, *e* Embryosack mit dem Prothallium gefüllt, *a* Bauchteil, *c* Halsteil eines Archegonium, *o* Eizelle, *n* der Eikern, *nc* der Nucellus, *p* Pollenkörner auf und in der Knospenwarze, *t* Pollenschläuche, *i* Integument, *s* der Samenflügel.

Die Makrosporophylle tragen in der Regel zwei Makrosporangien, welche aus dem Nucellus und meist einem Integumente bestehen. Ersterer hat oft eine große Mächtigkeit erlangt und das ursprünglich unter der Epidermis liegende sporogene Gewebe tief ins Innere versenkt (Fig. 407). Von dem gesamten, bisweilen sehr umfangreichen sporogenen Gewebe wird meist nur eine einzige in der Mittellinie gelegene Zelle als Makrosporenmutterzelle ausgebildet; alle übrigen bleiben steril. Die Makrosporenmutterzelle geht eine Tetradenteilung ein (Fig. 408); doch entwickelt sich von ihren vier Tochterzellen nur eine einzige zum Embryosacke (Makrospore), verdrängt die Schwesterzellen und nach und nach den gesamten sporogenen Zellkomplex. Diese Makrospore füllt sich unterdessen mit Prothalliumgewebe, das aus wiederholten Teilungen ihres Zellkernes und zugehörigen Zellplasmas hervorgeht und den ganzen Innenraum einnimmt (Fig. 409). Am Scheitel des Prothalliums werden Archegonien angelegt, die aus einer mächtigen Eizelle und einem kurzen Halsteil bestehen und denen der Pteridophyten auch darin gleichen, daß kurz vor der Befruchtung eine kleine Bauchkanalzelle von der Eizelle abgegeben wird. So sind die Archegonien beschaffen, deren Eizellen von den oben in ihrer Entwicklung verfolgten generativen Zellen des Pollenschlauches, der zwischen den Halszellen hindurch eindringt, befruchtet werden. Aus der Vereinigung der Kerne (Fig. 410 *A—I*) entsteht der Keimkern; die Eizelle, welche jetzt männliches mit weiblichem Plasma gemischt enthält, wäre demnach als Keimzelle zu bezeichnen. Die Entwicklung des Embryo aus dieser Keimzelle ist bei den einzelnen Ordnungen, ja schon Gattungen, sehr verschieden. Es wird im folgenden die bei Pinusarten angetroffene Entwicklungsweise wiedergegeben.

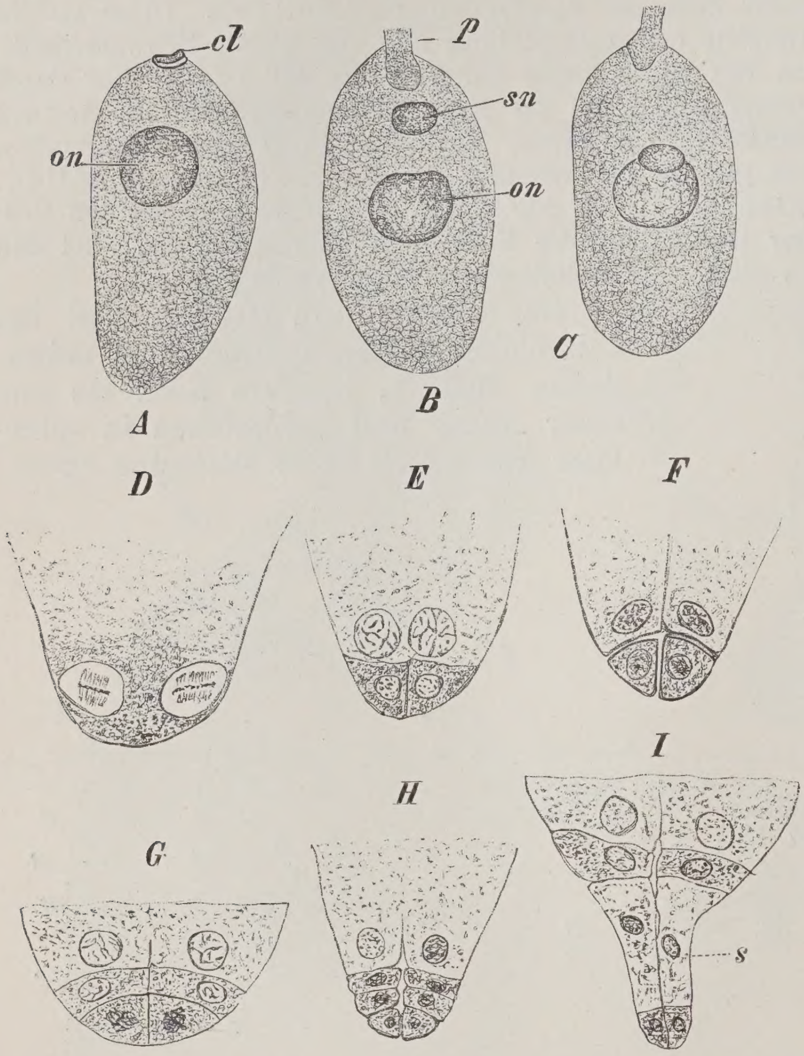


Fig. 410. Picea excelsa. *A—C* Vergr. 60. *D—I* Pinus Laricio. Vergr. 104. (*D—I* Nach Coulter und Chamberlain.) *A* Reifes Ei mit Eikern *on*, Bauchkanalzelle *cl*. *B* Eintritt des befruchtenden männlichen Kernes *sn*, ins Ei, aus dem Pollenschlauch *p*. *C* Vereinigung von Eikern und Spermakern zum Keimkern. *D* Vier in zweifacher Teilung des Keimkernes gebildete Kerne sind in das untere Ende der Keimzelle gewandert und gehen hier eine neue Teilung ein (auf dem Schnitte sind nur zwei sichtbar). *E* Vier der jetzt vorhandenen acht Kerne bleiben der Keimzelle erhalten, deren unterer Teil gefächert, aber nicht abgesondert wird, die anderen vier bilden selbständige Zellen, welche sich weiter teilen und in *F—H* in je drei übereinander liegende Etagen zerfallen sind. In *I* hat die Streckung der mittleren Etage von vier Zellen zum langen Suspensor *s* begonnen.

Nach einer zweifachen Teilung des Keimkernes wandern die vier Kerne in die Basis der Keimzelle, ordnen sich in einer Fläche nebeneinander an und teilen sich wieder. Die vier oberen bleiben dem Keimzellende erhalten, sondern sich jedoch voneinander

durch Wände ab, so daß jeder in einer mit dem Keimzellplasma in freier Verbindung stehenden Zelle liegt. Die unteren bilden ein Stockwerk von vier selbständigen Zellen und vermehren durch weitere Teilungen die Etagenzahl dieses „Proëmbryo". Das oberste Stockwerk bildet den Abschluß der Keimzelle, das zweite streckt sich lang aus zum Suspensor, und schiebt die weiterfolgenden zur Embryobildung bestimmten Etagen vor sich her, in das mit Nährstoffen gefüllte Prothalliumgewebe, das Endosperm, hinein. Nach neuen Angaben von MIYAKE und COKER würde bei *Picea excelsa* und *Taxodium* die Suspensor-Etage durch spätere Teilung der obersten Etage zwischengeschoben. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sich ein gleiches Verhalten bei Nachuntersuchungen auch sonst zeigen wird.

In anderen Gattungen findet eine Sonderung der vier Zellreihen statt, deren jede dann eine Embryoanlage führt, doch gelangt in der Regel in jeder Makrospore aus allen befruchteten Archegonien nur ein einziger Embryo nach Verdrängung aller übrigen zur Vollendung. Er besitzt dann eine nach der Mikropyle hinweisende Hauptwurzel, die Radicula, eine junge Hauptachse, das Hypokotyl, eine zwischen zwei bis mehreren wechselnde Zahl von Keimblättern, Kotyledonen und die zwischen diesen befindliche Anlage einer Stammknospe, die Plumula.

Die ungeschlechtliche Generation bietet weniger gleichmäßige Züge und wird daher besser innerhalb der einzelnen Ordnungen erörtert werden.

1. Ordnung. Cycadinae (5).

Einzige Familie: ***Cycadaceae.*** Die Cycadaceen sind den Tropen und Subtropen angehörige Holzgewächse. Ihr Stamm ist mit Dickenwachstum begabt, er bleibt in der Regel unverzweigt und bringt große, gefiederte Laubblätter von mehrjähriger Dauer und lederiger Beschaffenheit als gipfelständige Rosette hervor, abwechselnd mit schuppenförmigen Niederblättern. Diese letzteren bekleiden gemeinsam mit den Basen der abgeworfenen Laubblätter die Oberfläche des säulenartigen oder knollenförmigen Stammes. In allen Teilen der Pflanzen finden sich Schleimgänge. Die Gefäßbündel sind kollateral, führen jedoch im Gefäßteil nur Tracheïden.

Die Blüten der Cycadaceen sind diöcisch verteilt. Fig. 411 stellt eine blühende weibliche Pflanze von *Cycas revoluta* dar. Der Vegetationskegel des Stammes bildet hier abwechselnd Laubblätter und Makrosporophylle. Die Laubblätter sind in der Jugend gleich denen der Farne eingerollt. Ein Sporophyll ist in Fig. 412 genauer wiedergegeben. Es zeigt noch die gefiederte Form der Laubblätter, entbehrt aber des Chlorophylls und ist dicht behaart. Der Basis genähert trägt es zwei bis acht randständige Makrosporangien. Jede blühbare weibliche Cycaspflanze durchläuft also in regelmäßigem Wechsel eine vegetative und eine Blüteperiode; die Blüte, von der Gesamtheit der Sporophylle dargestellt, wird stets durchwachsen, da dem Stamme die Fähigkeit sich zu verzweigen fehlt. Eine in morphologischer Hinsicht höhere Stufe hat die männliche Cycaspflanze und die Reihe der übrigen Cycadaceen insofern erreicht, als sie dazu im stande sind. Die Sporophylle finden sich hier nämlich in terminalen Zapfenblüten von oft riesigen Dimensionen vereinigt, der Stamm schiebt aber diese terminalen Blüten beiseite und setzt in sympodialem Aufbau aus einer Seitenknospe das Stammwachstum in ursprünglicher Richtung fort.

Derartige Zapfen bestehen aus zahlreichen Sporophyllen, die in spiraliger Stellung an der Achse einander folgen. Mikrosporophylle sind auf ihrer Unterseite mit zahllosen Mikrosporangien übersät, wie Fig. 413 an *Cycas* darstellt. Makrosporophylle der zapfenblütigen übrigen Cycadaceen beschränken die Zahl der Makrosporangien auf je zwei, welche dem, *Cycas*

Fig. 411. Cycas revoluta, weiblich, blühend. Nach einer Photographie.

Fig. 412. Fruchtblatt von Cycas revoluta, verkl. (Nach SACHS.)

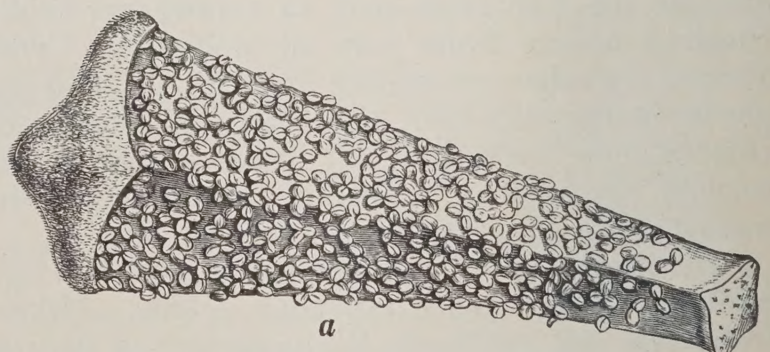


Fig. 413. Staubblatt von Cycas circinalis, von unten. (Nach RICHARD.)

gegenüber erheblich abgeänderten Sporophyll am Rande eingefügt werden, wie Fig. 414 für *Ceratozamia robusta* zeigt; nur *Stangeria* trägt auch die Makrosporangien unterseits.

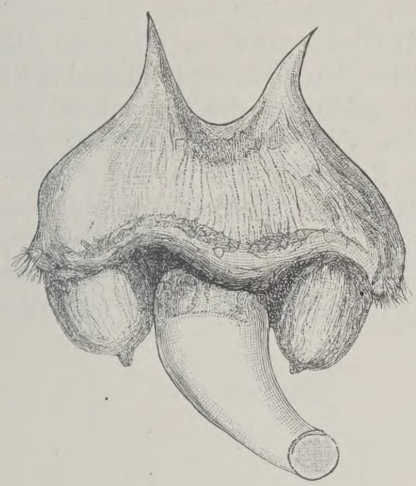


Fig. 414. Ceratozamia robusta. Ein Makrosporophyll mit zwei Makrosporangien. (Nach GÖBEL.)

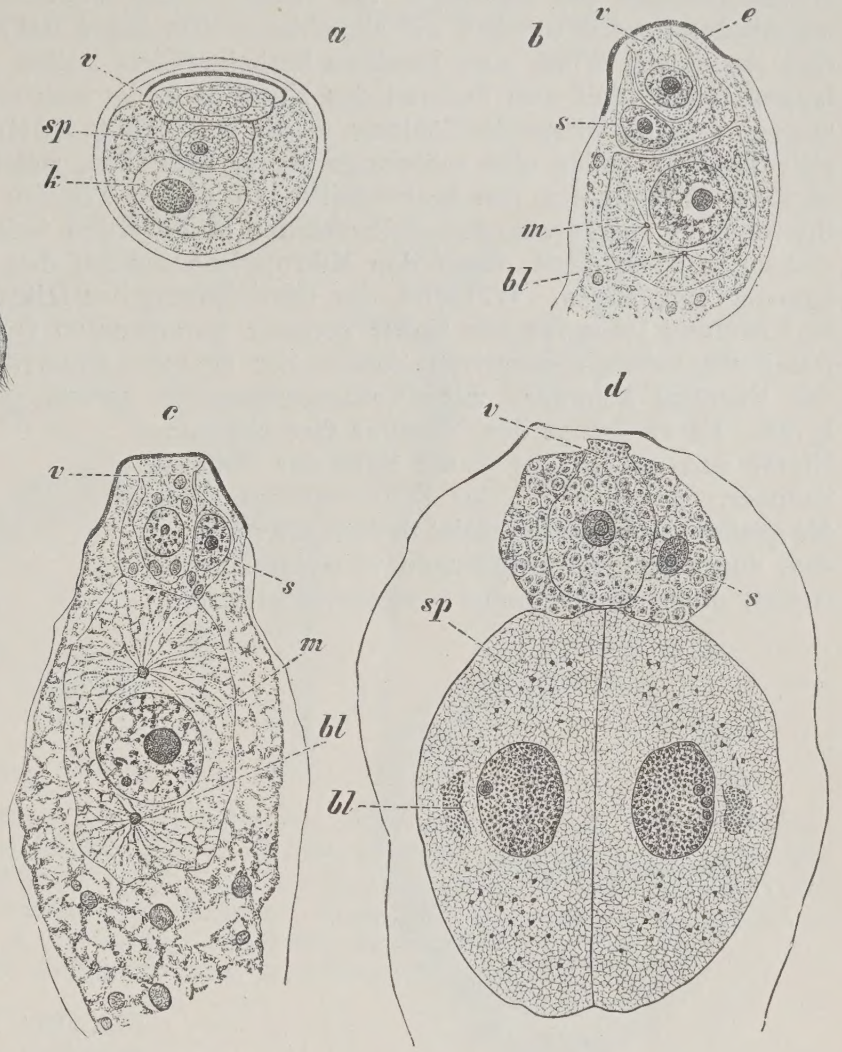


Fig. 415. Zamia floridana. Spermatozoidbildung nach H. J. WEBBER. *a* Reifes Pollenkorn in Wasser. Vergr. 800. *v* vegetative Prothalliumzellen, in Einzahl vorhanden; der dunkle Streifen an ihrer Ansatzstelle entspricht einer zweiten, die zugrunde ging. *k* Kern des Pollenschlauches. *sp* Spermatogene Zelle. *b c d* Verschiedene Stadien der Antheridiumentwicklung. *b c* Vergr. 400. *d* Vergr. 200. *v* erhaltene vegetative Prothalliumzelle, die in die sterile Schwesterzelle des Antheridiums *s* hineinwächst. *m* Mutterzelle der Spermatozoiden. *e* Exine. In der Mutterzelle sind die großen Blepharoplasten, *bl*, sichtbar, welche die Cilien bilden werden; in *b c* stellen sie je eine sternförmige Figur dar, in *d* kleine Körnchen, die zum Cilienband zusammentreten. Stärkekörner sind im Pollenschlauch vorhanden, in *c* treten sie auch in der vegetativen Zelle und in der sterilen Schwesterzelle auf. In *d* erscheinen beide mit Stärke vollgepfropft. *d* zeigt die beiden aus der Spermatozoid-Mutterzelle hervorgehenden Spermatozoiden *sp* durch eine Wand voneinander getrennt.

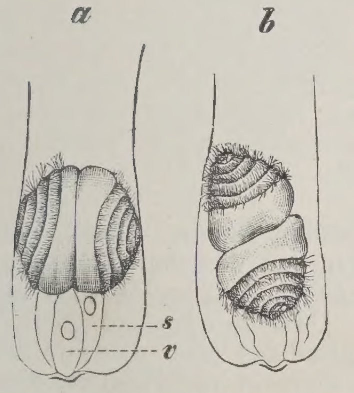


Fig. 416. Oberes Ende des Pollenschlauches von Zamia floridana mit vegetativer Prothalliumzelle *v*, steriler Schwesterzelle *s*, und den beiden Spermatozoiden. *a* vor Beginn der Bewegung, *b* nach Eintritt der Cilienbewegung. Die Prothalliumzellen sind zerrissen, die Trennung der beiden Spermatozoiden ist fortgeschritten. (Nach H. J. WEBBER.) Vergr. ca. 75.

Die Entwicklung der Geschlechtsgeneration bietet bei den Cycadaceen in mancher Beziehung Abweichungen gegenüber dem allgemeinen vorher dargelegten Schema der Gymnospermen. Diese Abweichungen deuten darauf hin, daß hier eine den Pteridophyten näherstehende ursprünglichere Entwicklungsstufe vorliegt. Sie mögen an der in den letzten Jahren von WEBBER eingehend untersuchten Zamia floridana beschrieben werden. Weibliche Zapfen von Zamia tragen eine Anzahl von Sporophyllen, deren sechseckige

Oberflächenschilder genau aneinander passen. Jedes Sporophyll trägt zwei Makrosporangien, ähnlich wie in Fig. 414 für Ceratozamia dargestellt ist. Sie bestehen aus einem Nucellus und einem Integument. Zwischen den Integumenträndern bleibt über dem Nucellusscheitel die Mikropyle als offener Kanal erhalten. Zur Zeit des Stäubens der männlichen Zapfen weichen die einzelnen sechseckigen Makrosporophylle auseinander, so daß der durch Wind oder Insekten herbeigeführte Pollen zwischen ihnen hindurch gelangen kann. Auf dem Scheitel des Nucellus bildet sich zu dieser Zeit eine mehr oder minder weit eindringende Höhlung — die sogenannte Pollenkammer —, während die sich lösenden Zellen eine schleimige Masse darstellen, welche den Mikropylenkanal füllt und als Tropfen aus ihm hervorquillt. In diesen Tropfen gelangen die zwischen die Sporophylle eingedrungenen Pollenkörner und werden beim Versiegen später mit der sinkenden Flüssigkeit durch den Mikropylenkanal auf den Nucellus und in die Pollenkammer eingesogen. Während der Entwicklung der Mikrosporen zu Pollenschläuchen und Bildung jener für alle bisher genauer untersuchten Cycadaceen charakteristischen, frei beweglichen generativen Zellen, der Spermatozoiden, wächst der im Grunde des Nucellus liegende, mit Prothalliumgewebe bereits gefüllte Embryosack mächtig heran. Er verdrängt den Nucellus fast bis zum Gipfel und gelangt so in die Nähe der Pollenkammer. Am Scheitel des Embryosackes sind die großen Archegonien meist in Vierzahl vorhanden, durch einige Gewebelagen voneinander getrennt. Jedes Archegonium besitzt einen Halsteil

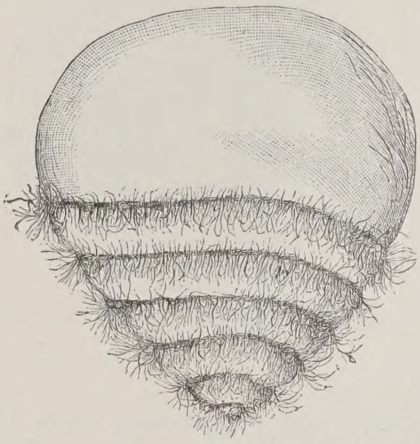


Fig. 417. Zamia floridana. Frei schwimmendes reifes Spermatozoid. (Nach H. J. Webber.) Vergr. 150.

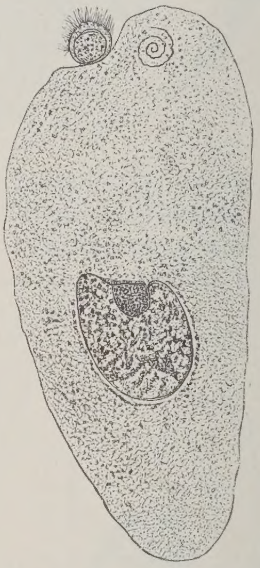


Fig. 418. Zamia floridana. Eizelle unmittelbar nach der Verschmelzung des eingedrungenen Spermatozoidkernes mit dem Eikern. Das abgeworfene Cilienband in der Spitze des Eies. Ein zweites Spermatozoid versucht ins Ei einzutreten. (Nach Webber.) Vergr. 18.

und gibt schließlich auch eine Kanalzelle ab. Gerade über den Archegonien findet sich eine Einsenkung im Prothallium (die Archegonienkammer) von 2 mm Durchmesser und 1 mm Tiefe. In diese Höhlung wachsen die Pollenschläuche und entlassen hierher ihre Spermatozoiden zugleich mit einem Tropfen wässriger Flüssigkeit, der ihnen die Bewegung gestattet. Da die Pollenschläuche meist durch den Widerstand, welchen die etwas vorragenden Halszellen ihrem Wachstum bieten, zum Platzen gebracht werden, können die Spermatozoiden nicht leicht den Weg zur Eizelle verfehlen, müssen aber ihre breite Form erheblich zusammenpressen, um die schmale Pforte zwischen den aufgebrochenen Halszellen hindurch passieren zu können. Die befruchtete Eizelle läßt den Keimkern in Teilung eintreten. In den Tochterkernen wird in rascher Folge eine stets gleichzeitig in allen verlaufende Weiterteilung durchgeführt, bis in der achten Teilung etwa 256 freie Kerne den Zellraum füllen. Sie drängen ins untere Ende des Proëmbryo, es tritt Zellwandbildung zwischen ihnen ein. Der den Scheitel einnehmende Embryo wird von dem rasch in die Länge wachsenden Suspensor ins Endosperm hineingetrieben. Er besitzt schließlich zwei mächtige Kotyledonen, eine wohlentwickelte Plumula dazwischen, und ein verhältnismäßig kurzes Hypokotyl. Fig. 415—418 stellen die Spermatozoidentwicklung und Befruchtung dar. Einzelheiten sind in der Figurenerklärung zu vergleichen.

2. Ordnung. Ginkgoinae(6).

Der einzige Vertreter dieser auf die Familie der *Ginkgoaceae* beschränkten Ordnung ist der aus Japan stammende, bei uns jetzt vielfach angepflanzte Baum *Ginkgo biloba.*

Fig. 419. Ginkgo biloba. Männlicher Kurztrieb mit Blüte. Die Blätter werden später größer. *a, b* Staubblätter, *c* weibliche Blüte, *d* Frucht, *e* Steinkern daraus, *f* derselbe im Querschnitt, *g* im Längsschnitt nach Ausbildung des Embryo; *h* weibliche Blüte mit ausnahmsweise zahlreichen, auf besonderen Stielchen sitzenden Samenanlagen. Männliche Blüte und *c* in nat. Gr., *d* ein wenig verkleinert, die übrige Figur vergrößert. (Nach Richard, *a—d* nach Eichler.)

Ginkgo biloba verliert jährlich seine langgestielten, ein- bis mehrfach zweilappigen Blätter (deren Form ihm auch die synonyme Benennung *Salisburya adiantifolia* eingetragen). Blüten diöcisch verteilt. Staubblätter zahlreich an einer gestreckten Achse vereinigt ohne Hüllblätter. Mikrosporangien mit „*Endothecium*". Makrosporangien zu zweien auf dem Gipfel kurzer Sprosse, Sporophylle bleiben auf eine kragenartig die Sporangien umgebende Wucherung beschränkt (Fig. 419, 420).

Ausbildung der sexuellen Generation und Befruchtung den für Zamia geschilderten Verhältnissen sehr ähnlich. Die befruchtete Eizelle füllt sich mit festem Gewebe und bildet den Embryo aus, indem besonders die von der Mikropyle abgewandten Teile stark heranwachsen und ins Endosperm eindringen. Proëmbryo und Suspensor kommen nicht zu gesonderter Ausgliederung.

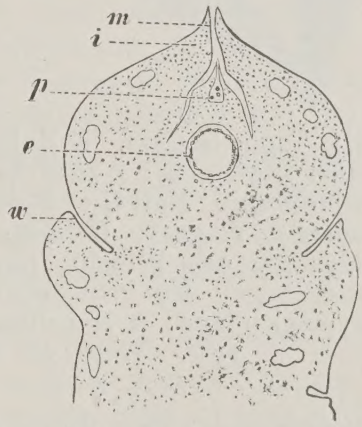


Fig. 420. Längsschnitt durch ein junges Makrosporangium von Ginkgo biloba nach Coulter u. Chamberlain. Vgr. 35. *m* Mikropyle, *i* Integument, *p* Pollenkammer, *e* Embryosack, *w* Wucherung des Sporophylls. Der Besitz einer wohlentwickelten Pollenkammer entspricht der Verwandtschaft mit den Cycadaceen.

3. Ordnung. Coniferae (7).

In der Ordnung der Koniferen sind die unter dem Namen der „Nadelhölzer“ bekannten Pflanzen vereinigt. Stattliche Gewächse von baumförmigem oder strauchartigem Habitus, mit holzigen Stämmen versehen, zeichnen sie sich durch den gemeinsamen Charakter kleiner. ungeteilter, fester, flacher oder kantiger Nadelblätter von meist mehrjähriger Dauer aus, so daß Nadelhölzer, bis auf wenige Vertreter, zu der „immergrünen“ Vegetation zählen. Eine reiche Verzweigung kommt allen Koniferen zu; sie läßt sich meist in Kurz- und Langtriebe gliedern. In vielen Fällen sind Hauptstamm und Seitenzweige durch Wachstumsrichtung und -stärke scharf unterschieden, wenigstens an jüngeren Individuen. Im Alter nehmen die Bäume oft Schirmform an.

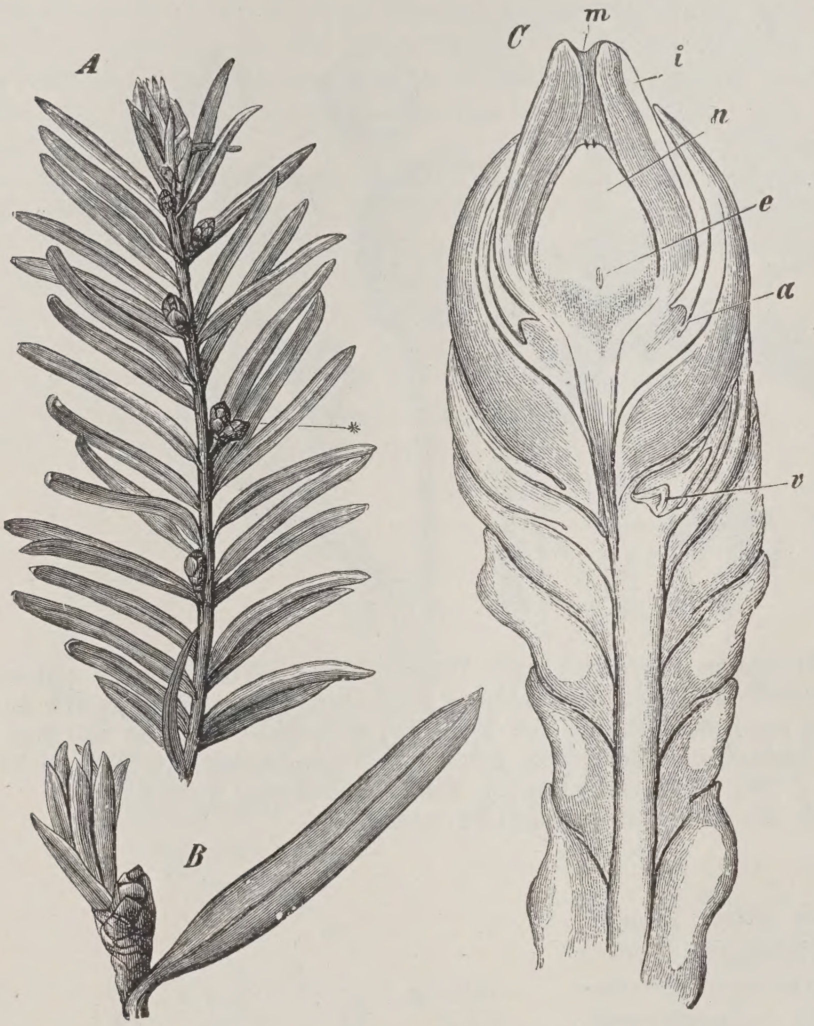


Fig. 421. Taxus baccata. *A* Habitusbild eines Zweiges mit weiblichen Blüten, bei * zwei Samenanlagen an demselben Primansprößchen. Nat. Gr. *B* ein Blatt mit achselständiger Samenanlage. Vergr. 2. *C* Längsschnitt durch die gemeinsame Mediane des Priman- und Sekundansprößchens, *v* Vegetationskegel des Primansprößchens, *a* Arillusanlage, *e* Embryosackanlage, *n* Nucellus, *i* Integument, *m* Mikropyle. Vergr. 48. — Giftig.

Der Mangel an Gefäßen (vgl. S. 110) im sekundären Holz, wie in den Vasalteilen der jungen Pflänzchen, ist in anatomischer Hinsicht charakteristisch. Große Tracheïden mit eigenartigen Hoftüpfeln auf den radialen Längswänden vertreten ihre Stelle und bilden Holzkörper von außerordentlicher Gleichmäßigkeit. Der Mehrzahl der Koniferen ist reicher Harzgehalt in Rinde und Holz eigen.

Die Nadelhölzer sind im Gegensatz zu den Cycadinae meist Bewohner gemäßigter Zonen, auch gehören sie mit zu den am weitesten gegen den Pol vordringenden Baumformen. Wo sie innerhalb der Wendekreise auftreten, handelt es sich meist um Arten, die hoch ins Gebirge hinaufsteigen.

Nach den Verschiedenheiten ihrer Blütenbildung werden die Koniferen auf zwei Familien verteilt.

Die *Taxaceae* sind charakterisiert durch weibliche Blüten mit einem oder wenigen Makrosporangien, die in der Regel mit einem Arillus versehen sind. Diese Blüten pflegen nicht zapfenförmig zu sein. Die Mehrzahl der Vertreter hat diöcische Geschlechtsverteilung.

Die *Pinaceae* dagegen führen mehrere Samenanlagen in jeder weiblichen Blüte, welche aus zahlreichen, zu Zapfen an einer Spindel vereinigten Sporophyllen gebildet wird. Arillus ist nicht vorhanden, die Geschlechtsverteilung meist monöcisch.

Familie ***Taxaceae.*** Die Angehörigen der Taxaceen sind in verschiedenen kleinen Gattungen auf der südlichen Hemisphäre verbreitet. Als wichtigste von ihnen ist die Gattung *Podocarpus* zu nennen, deren zahlreiche Arten sich als stattliche Bäume in den Bergwaldungen der asiatischen Tropen finden und in den gemäßigten Zonen Ostasiens und der australisch-neuseeländischen Inselwelt eine weite Verbreitung besitzen. Ihre weiblichen Blüten sind kleine Sprosse, deren Sporophylle fleischig anschwellen; 1 oder 2 davon tragen je eine anatrope, von fleischigem Arillus umhüllte Samenanlage auf dem Gipfel. Die auf demselben oder auf anderen Individuen vorhandenen männlichen Blüten stellen kleine Zäpfchen dar, welche aus zahlreichen an einer aufgerichteten kurzen Achse sitzenden Mikrosporophyllen bestehen. Jedes Sporophyll trägt unterseits zwei Sporangien; die Mikrosporen sind mit Flugblasen versehen. *Taxus baccata* ist die einzige in Europa vorhandene Art der Familie. Die Eibe, jetzt vielfach in Anlagen gepflanzt (Fig. 421, 422), hat früher eine große Verbreitung als immergrünes Unterholz unserer Wälder besessen, einzelne mächtige Exemplare finden sich in Nord- und Mitteldeutschland noch vor, größere Bestände sind wohl nur in der Schweiz, z. B. an den steilen Hängen des Uetli, erhalten geblieben. Der Baum erreicht eine Höhe von ca. 10 m. Seine Zweige sind sämtlich als Langtriebe ausgebildet und tragen an den aufstrebenden Hauptästen allseitig, an den wagerecht ausgebreiteten Seitenzweigen nach rechts und links gescheitelt flache Nadelblätter von mehrjähriger Dauer. Der Baum ist diöcisch. Die Blüten sitzen auf der Unterseite der Zweige und entstehen als Achselsprosse vorjähriger Nadeln. Männliche Blüten werden von einer Anzahl Schuppenblätter am Grunde umhüllt und enthalten etwa 10 schildförmige Staubblätter, mit je 5—9 Pollensäcken. Ihre Öffnung ist eigenartig. Nach Lösung an der Basis und den Seiten wird die Außenwand zurückgeschlagen; das ganze Staubblatt ähnelt dann einem nach unten aufgespannten Schirm, in dessen Höhlung die Pollenmassen liegen bleiben, bis der Wind sie entführt. Weibliche Blüten entstehen einzeln — seltener in Zweizahl — als sekundärer Achselsproß der (der beiden) obersten Schuppe eines primären Triebes, dessen zur Seite gedrängter Vegetationskegel sich nicht weiter entwickelt. Sie bestehen aus einer einzigen atropen Samenanlage, die von einem Integument umhüllt wird. Die allen Gymnospermen eigene Tropfenausscheidung der Mikropyle ist hier besonders gut zu beobachten. Während der Samenentwicklung bildet sich ein fleischiger Arillus aus, der als hochroter Becher den reifen Samen umgibt. Das Laub und der Samen, nicht aber der ihrer Verbreitung durch Vögel dienende Arillus sind giftig.

Familie ***Pinaceae.*** In der Familie der Pinaceen sind die wichtigsten Nadelholzbäume enthalten, die sich nach Verschiedenheiten der Blattstellung und Lage der Samenanlagen auf zwei Unterfamilien verteilen lassen. Alle Formen mit gegenständigen oder quirlständigen Blättern fassen wir als *Cupressineae* zusammen. Diesen kommt zugleich eine aufrechte Stellung ihrer Samenanlagen zu. Cupressus, Thuja, Juniperus sind hier zu nennende Gattungen.

Alle Formen mit wechselständigen Blättern bilden die Unterfamilie der *Abietineae*, welche fast ausnahmslos umgewendete Samenanlagen besitzen. Man kann diese nach den Gattungen Araucaria und Agathis — Abies, Picea, Larix und Pinus — Sequoia, Taxodium und Sciadopitys drei verschiedenen Gruppen zurechnen, die als Araucarieae, Abietineae im engeren Sinne und Taxodieae zu bezeichnen wären.

Unterfamilie ***Cupressineae.*** Die Cupressineen haben teils quirlständige Nadeln wie unser Wacholder (Fig. 423), teils schuppenförmige und dann dekussiert stehende Blätter wie Thujaarten und Juniperus Sabina (Fig. 424).

Doch zeigen die Keimpflanzen von Thuja noch nadelförmige Blätter, und einzelne Zweige der schuppig beblätterten Juniperusarten fallen ebenfalls häufig auf Nadelblätter und dreizählige Blattquirle zurück, so daß man diese als ältere Blattform aller Cupressineen zu betrachten berechtigt ist.

Fig. 422. Taxus baccata. $^1/_2$ nat. Gr. — Giftig.

Fig. 423. Juniperus communis. $^2/_3$ nat. Gr. — Zweig mit Früchten und Zweig mit männlichen Blüten. — Officinell.

Die Blüten der Cupressineen sind monöcisch, nur bei Juniperus meist diöcisch verteilt. Die männlichen sind bei Juniperus communis blattachselständig. Der kleine Sproß beginnt mit einer Anzahl anliegender Schuppenblätter (Fig. 425 a [*a*]) und endet mit einigen Wirteln von schildförmigen Sporophyllen (*c*), die auf der Unterseite je 2—4 Mikrosporangien (*d*) tragen, welch letztere sich mit einem vertikalen, in Längsrichtung des Sporophylls verlaufenden Riß öffnen. Die Stellung der weiblichen Blüten ist die gleiche. Auf die Hülle der Schuppenblätter (Fig. 425 *b*) folgt ein Quirl Fruchtblätter (*c b*); jedes trägt schräg vor der Mittellinie eine aufrechte Samenanlage (*c*). Nach der Befruchtung geht hauptsächlich aus dem Grunde der Sporophylle fleischiges Parenchym hervor, welches die drei Makrosporangien emporhebt und sich zwischen sie eindrängt, ohne jedoch den freien Raum ganz auszufüllen. Die drei Fruchtblätter schließen dann über den Samenanlagen völlig zusammen. Eine Narbe kennzeichnet noch an der reifen Frucht die Grenzen der Fruchtblätter auf dem Scheitel; ihre Spitzen liegen je im Winkel der Nähte ein wenig zurück. Fruchtreife dauert zwei Jahre. Die fleischige Beschaffenheit der Fruchtblätter läßt die Frucht als Beere erscheinen. Übrigens ist Juniperus die einzige Cupressinee mit Beerenfrüchten; die übrigen, wie *Cupressus*, *Thuja* usw. tragen Zäpfchen.

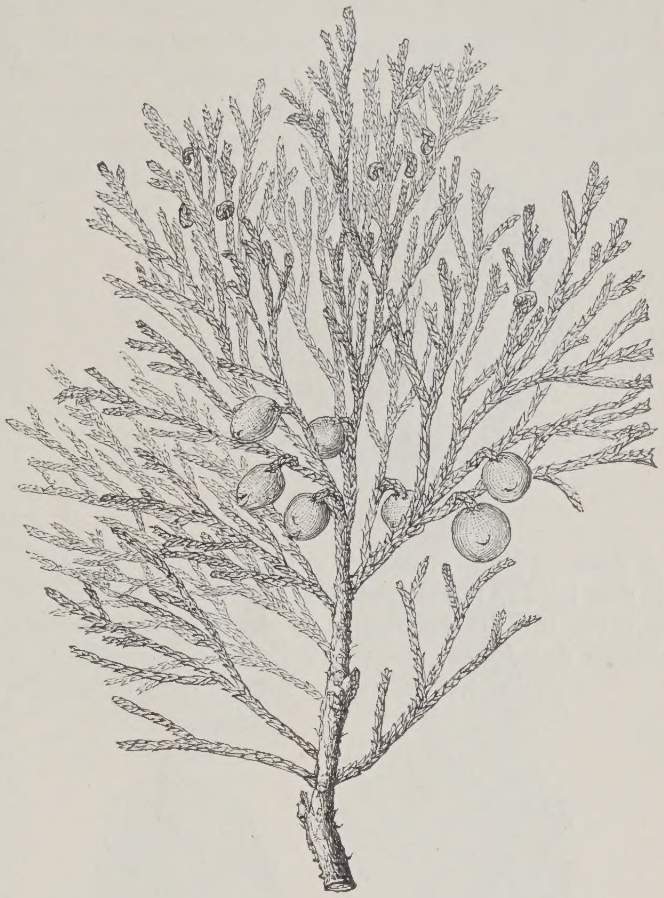


Fig. 424. Zweig von Juniperus Sabina mit Früchten. — Officinell und giftig.

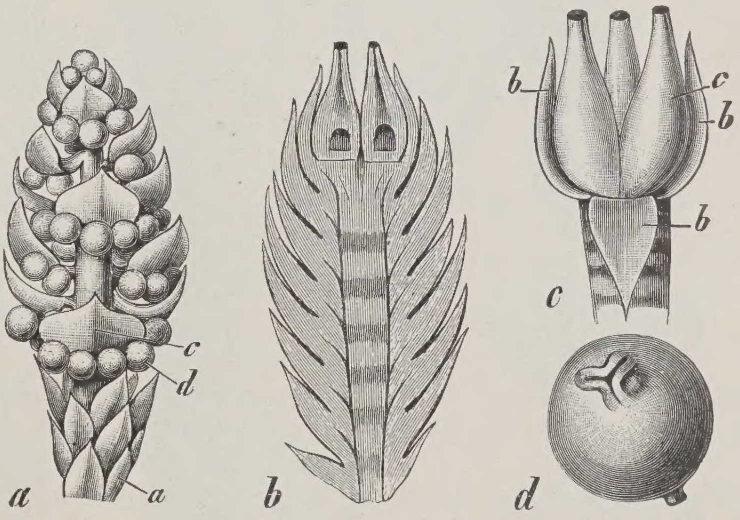


Fig. 425. Juniperus communis. *a* männliche Blüte. *b* fertiler Zweig mit weiblicher Blüte. *c* weibliche Blüte, ein Fruchtblatt zurückgebogen. *d* Beere. — Officinell. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.)

Juniperus communis, Wacholder, ein auf der ganzen nördlichen Hemisphäre verbreiteter, stellenweise sehr häufiger, bisweilen baumförmiger Strauch. *Juniperus Sabina*, Sadebaum, in den Alpen und sonstigen mittel- und südeuropäischen Gebirgen als niederliegender Strauch zu finden. Die Cypresse, *Cupressus sempervirens*, im Mittelmeergebiet zu Hause. *Thuja*arten, Lebensbaum, als Ziersträucher und Bäume bei uns angepflanzt.

Unterfamilie ***Abietineae.*** Die Blütenbildung der Abietineen mag zuerst besprochen werden. Männliche Blüten (vgl. Fig. 405, S. 376) bestehen lediglich aus einer am Grunde mit Schuppenblättern besetzten Achse, an der zahlreiche Staubblätter sich finden, die auf ihrer Unterseite Pollensäcke (Mikrosporangien) tragen. Ihre Zahl ist bei den *Abietineen* im engeren Sinne auf 2 beschränkt, steigt bei *Agathis*

und *Araucaria* auf 5—15. Eine über die Mikrosporangien hinausragende Spitze des Sporophylls ist meist dreieckig, ändert aber sehr ab in Größe und Beschaffenheit.

Weibliche Blüten stellen durchweg Zapfen dar, bestehen also aus einer Achse und Zapfenschuppen, welche stets verholzen und durch engen Zusammenschluß die sich entwickelnden Samenanlagen schützen.

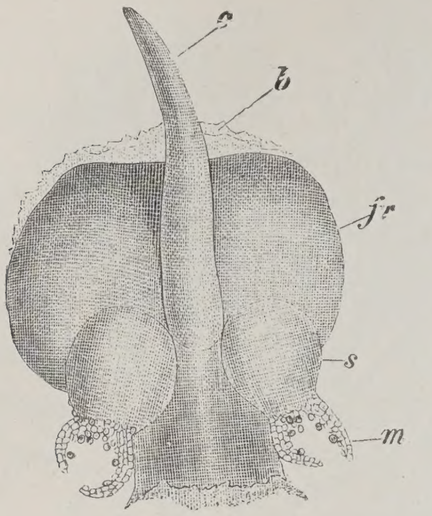


Fig. 426. Pinus silvestris. Fruchtschuppe *fr* mit den beiden Samenanlagen *s* und dem Kiel *c*. Dahinter die Deckschuppe *b*. An den Samenanlagen der Integumentrand in zwei Fortsätze (*m*) ausgewachsen. Vergr. 7.

Bei *Agathis* und *Araucaria* trägt jede Schuppe eine anatrope Samenanlage an der Basis. — (Die zapfentragenden *Cupressineen* bilden eine von der Zapfenschuppe nicht deutlich abgegliederte Wucherung, der die hier atropen Samenanlagen aufsitzen.) — Ähnlich liegen die Verhältnisse bei *Sequoia* und *Taxodium*, doch beginnt die Abgrenzung des Auswuchses sich schärfer zu markieren. Bei den *Abietineen* im engeren Sinne ist die Trennung weiter durchgeführt; man findet eine zweite, der Zapfenschuppe am Grunde verbundene innere Schuppe, welche die beiden stets anatropen Samenanlagen trägt. Die äußere Schuppe heißt Deckschuppe, die innere Fruchtschuppe (Fig. 426, 427). Der Regel nach ist nun die Fruchtschuppe erheblich stärker ausgebildet. Sie ist der verholzende, die Samenanlage schützende Teil. Schon zur Zeit der Blüte wird meist die Deckschuppe von den Fruchtschuppen verdeckt und erst bei genauerer Untersuchung kenntlich. Doch gibt es einige Arten, z. B. *Abies bracteata*, *A. alba* (Fig. 427 *b*), *Tsuga Douglasi* usw., welche die Deckschuppe stets und in jedem Alter des Zapfens zwischen den Fruchtschuppen deutlich hervortreten lassen.

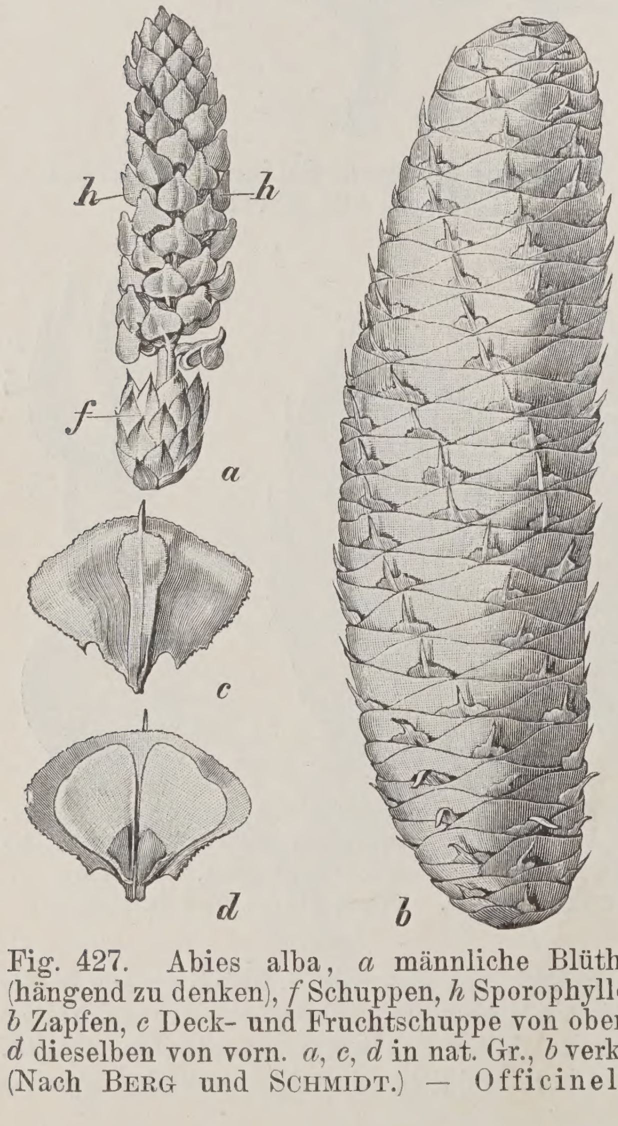


Fig. 427. Abies alba, *a* männliche Blüthe (hängend zu denken), *f* Schuppen, *h* Sporophylle, *b* Zapfen, *c* Deck- und Fruchtschuppe von oben, *d* dieselben von vorn. *a*, *c*, *d* in nat. Gr., *b* verkl. (Nach Berg und Schmidt.) — Officinell.

Die bisher wiedergegebene Anschauung, daß die Fruchtschuppe einem, in der Reihe von Araucaria zu den eigentlichen Abietineen zu immer größerer Entfaltung gelangenden placentaren Auswuchs der Deckschuppe entspricht, welcher die Makrosporangien trägt, ist besonders von Sachs, Eichler, Göbel vertreten worden. Ihr gegenüber betonten u. a. Strasburger und Celakowsky, daß die Fruchtschuppe vielmehr ein in der Achsel der Deckschuppe entstehender Sproß sei, daß also in dem Zapfen keine aus zahlreichen Sporophyllen zusammengesetzte Einzelblüte, sondern ein Sproßsystem vorliege, d. h. ein Blütenstand, eine Inflorescenz. Hier genügt es, auf diese Differenzen der Auffassung hingewiesen zu haben.

Wichtige Gattungen und Arten: *Agathis* (*Dammara*) ist im Malayischen Archipel und bis nach Neuseeland hinüber verbreitet. *Agathis australis* und *A. Dam-*

mara liefern Kauri-Kopal, während die bisher verbreitete Annahme, daß das Dammarharz von der letzteren abstamme, vor kurzem widerlegt werden konnte. *Araucaria brasiliana* und *A. imbricata* sind stattliche Waldbäume Südamerikas, *A. excelsa*, *A. Cookii* und andere Arten mit sehr beschränktem Verbreitungsgebiet werden ihrer schönen, regelmäßigen Formen wegen viel kultiviert. Zur Gattung *Sequoia* gehören mit die gewaltigsten Baumgestalten, die man kennt, wie die 100 m Höhe und 12 m Stammdurchmesser erreichenden Exemplare von *Sequoia gigantea* der californischen Sierra nevada. Das sommergrüne *Taxodium distichum* bildet ausgedehnte Sumpfwälder an den Nordküsten des Mexikanischen Golfes von Florida bis Galveston und *Taxodium mexicanum* (immer-

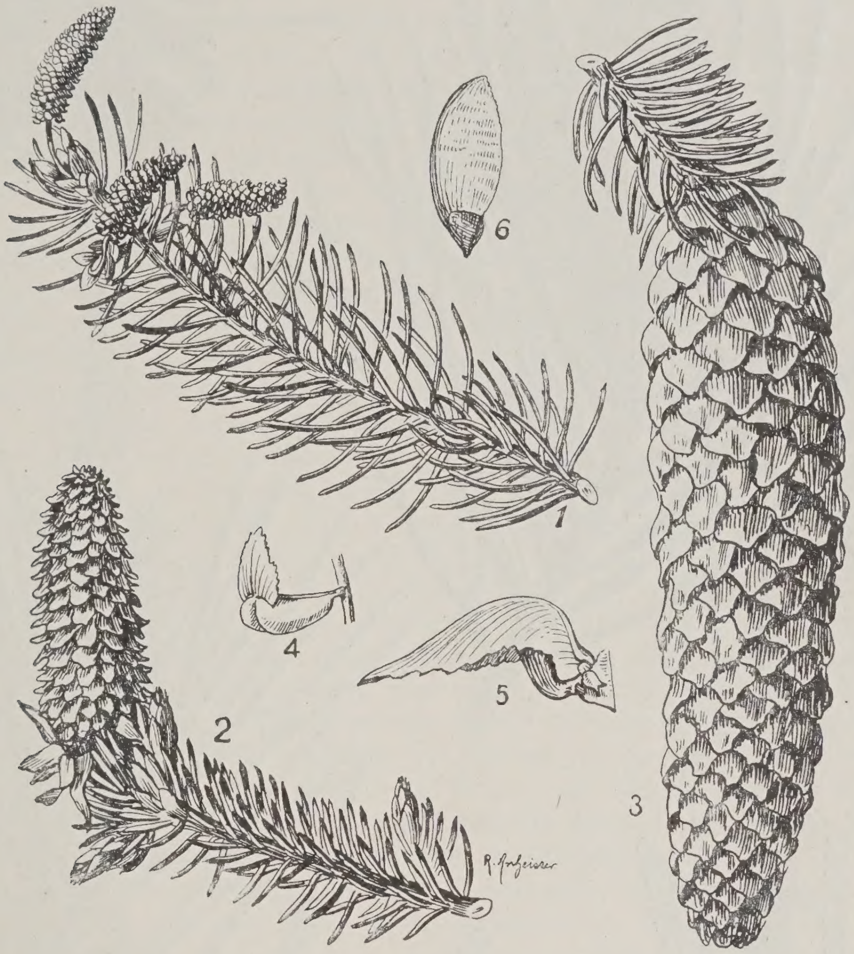


Fig. 428. Picea excelsa. $^1/_2$ nat. Gr. *1* Zweig mit männlichen Blüten. *2* Endständige weibliche Blüte. *3* Hängender Fruchtzapfen. *4* Mikrosporophyll. *5* Makrosporophyll, Deckschuppe von der nach außen umgeschlagenen größeren Fruchtschuppe überdeckt, eine Samenanlage am Grunde der letzteren. *6* Reifer Samen mit Flughaut aus einer gelösten Lamelle der Fruchtschuppe gebildet. *4—6* vergr. — Officinell.

grün) ist auf dem Mexikanischen Hochplateau weit verbreitet in z. T. mächtigen Exemplaren, wie dem „großen Baum von Tule", der von Humboldt auf 4000 Jahre geschätzt worden ist und bei 40 m Höhe 30 m Stammumfang besitzt.

Heimische Waldbäume: *Picea excelsa*, die Fichte oder Rottanne (Fig. 428), eine stattliche pyramidale Baumgestalt unserer Wälder. Kurztriebe fehlen. Langtriebe allseitig mit vierkantigen spitzen Nadeln besetzt, welche sich an den wagerecht abstehenden oder schließlich hängenden Seitenästen aufrichten. Männliche Blüten meist an den Flanken vorjähriger Triebe. Sie krümmen sich zur Blütezeit aufwärts. Beide Pollensäcke öffnen sich durch einen Längsriß. Weibliche Zapfen stehen endständig an vorjährigen Trieben desselben Individuums, meist dem Gipfel genähert; sie sind zur Blütezeit gerade aufgerichtet. Die reifen Zapfen hängen und entlassen die Samen zwischen den geöffneten Schuppen hindurch, fallen dann als Ganzes ab. Samenentwicklung ist einjährig. *Picea orientalis* aus Kleinasien und *Picea alba* aus Nordamerika häufig angepflanzt.

Fig. 429. Pinus silvestris. $^2/_3$ nat. Gr. *1* Neuer Jahrestrieb am Gipfel eines mit zahlreichen Kurztrieben besetzten Langtriebes. Am Grunde des jungen Langtriebes viele männliche Blüten je an Stelle eines Kurztriebes; weiter oben bräunliche Schuppenblätter mit je einer Kurztriebanlage in der Achsel. *2* Ebenso, jedoch eine weibliche aufgerichtete Blüte am Gipfel, an Stelle eines Langtriebes. Zwei vorjährige unreife grüne Zapfen, umgebogen am Gipfel des vorjährigen Langtriebes. *3* Zapfen des vorvorigen Jahres aufgesprungen, um die reifen Samen zu entlassen. *4* Ein Mikrosporophyll. *5* Makrosporophyll von der Innenseite, zeigt Fruchtschuppe mit zwei Samenanlagen am Grunde. *6* Dasselbe von der Außenseite, die kleine Deckschuppe unter der Fruchtschuppe verborgen. *7* Reifer Samen mit seinem von den Oberflächenschichten der Fruchtschuppe gebildeten Flügel. — Officinell.

Die Edeltanne (Fig. 427), *Abies alba*, ihrer weißen Rinde wegen auch Weißtanne genannt, ist in den mittel- und südeuropäischen Gebirgen zu Hause. Der Baum führt nur Langtriebe. Flache, unterseits mit 2 weißen Streifen versehene Nadeln, deren Spitze ausgerandet ist, stehen mehr oder weniger allseitig an dem Zweige, werden aber an den wagerechten, von oben belichteten Seitenästen durch Drehung ihres Grundes gescheitelt. Männliche Blüten entstehen achselständig auf der Unterseite oder den Flanken des Sprosses. Sie wachsen abwärts, so daß ihre der Sporophyll-Unterseite eingesenkten Pollensäcke aufwärts schauen. Durch eine schräge Längsspalte geöffnet, klafft die Wandung weit auseinander, und die mit Flugblasen versehenen Mikrosporen können leicht herausfallen. Weibliche Blüten entspringen oberseits und sind steil aufgerichtet. Deckschuppe hier etwas länger als die breite Fruchtschuppe. Befruchtete Zapfen behalten aufrechte Stellung; die Schuppen fallen bei der Reife von der Spindel ab, wobei die Samen frei werden. Ihre Ausbildung erfordert auch hier ein Jahr. *Abies Nordmanniana* aus dem Kaukasus, *A. Pinsapo*, Spanien, *A. concolor*, *A. balsamea*, *A. nobilis*, alle drei aus Nordamerika, sind in Parkanlagen anzutreffen.

Larix europaea, die Lärche, gehört zu den wenigen laubabwerfenden Koniferen. Sie erneuert ihre Nadeln jährlich. Ihre Triebe sind in Langtriebe und Kurztriebe gegliedert. Erstere, allseitig mit schmalen, linealen Laubblättern bestanden, setzen die Verzweigung des pyramidenförmigen Baumes, dessen Seitenzweige oft tief herabhängen, fort. Kurztriebe entstehen in den Blattachseln an vorjährigen Langtrieben; sie bestehen aus einer Rosette von 30—40 Blättern, denen der Langtriebe ähnlich, nur etwas kürzer. Die Blüten entsprechen in ihrer Stellung einem Kurztriebe. Männliche Blüten sind nach völliger Entwicklung abwärts gekrümmt. Öffnung ihrer aufwärts gekehrten Pollensäcke wie bei Abies. Weibliche Zapfen stets aufgerichtet. Fruchtreife 1 Jahr.

Die höchste Differenzierung der vegetativen Organe ist in der Gattung Pinus zu finden. *Pinus silvestris*, unsere gewöhnliche Kiefer (Fig. 429), mag als Beispiel dienen. Junge, 1—2jährige Keimpflanzen haben regelmäßig benadelte Langtriebe. An den älteren Exemplaren geht diese Benadelung völlig verloren; farblose, häutige Schuppenblätter treten an Stelle der Nadeln und in den Achseln der Schuppen bilden sich gleich beim Austreiben Kurztriebe mit je 2 — bei anderen Species 3 oder 5 — Nadeln. Diese sind ca. 5 cm lang, mit flacher Seite gegeneinander gelegt, außen gerundet. Der Vegetationspunkt der Kurztriebe geht alsbald ein, wenn er nicht etwa durch Abbrechen der Gipfelknospe zu weiterer Tätigkeit angeregt wird. Männliche Blüten treten in großer Menge an der Basis neu hervorbrechender Langtriebe auf, je einen Kurztrieb vertretend. Weibliche Blüten stehen einzeln oder zu mehreren am Gipfel solcher Langtriebe, je einem Langtrieb entsprechend. Sie sind zur Blütezeit aufgerichtet, kehren sich nach der Bestäubung abwärts. Die Reife der Samen ist zweijährig. Sie werden durch Öffnung ihrer bis dahin fest aufeinander gepreßten Fruchtschuppen frei. Der Zapfen fällt dann als Ganzes ab (Fig. 429. Einzelheiten in der Figurenerklärung). *Pinus montana*, Zwergkiefer unserer Gebirge. *P. Pinea*, Pinie, und *P. Cembra*, Arve, mit eßbaren Samen. *P. Laricio*, die Schwarzkiefer, aus Niederösterreich. *P. Pinaster*, Seestrandskiefer, aus dem Mittelmeergebiet, *P. Taeda*, Weihrauchkiefer, *P. Strobus*, Weymouthskiefer, *P. Lambertiana*, Zuckerkiefer, alle drei aus Nordamerika. *Cedrus*arten, Waldbäume des Atlas und Libanon, bei uns in Anlagen.

Giftig: *Juniperus Sabina*, der Sadebaum (Fig. 424).

Officinell: *Juniperus communis* (Fig. 423): Fructus Juniperi (Pharm. germ., austr., helv.), Oleum Juniperi (Pharm. germ., austr., helv.) und Lignum Juniperi (Pharm. austr., helv.), *Juniperus oxycedrus*: Oleum cadinum (Pharm. austr., helv.). — *Juniperus Sabina*: Herba Sabinae (Pharm. austr., helv.). — *Larix europaea*: Terebinthina veneta (Pharm. austr., helv.). — *Larix sibirica* (Nordrußland, Sibirien): Pix liquida (Pharm. germ.). Verschiedene *Pinus*-Arten, wie *P. silvestris* (Fig. 429), *Laricio*, *Pinaster*, *Taeda australis*, *cubensis* usw., auch *Abies alba* (Fig. 427) und *Picea excelsa* (Fig. 428) liefern Terebinthina, Kolophonium, Ol. Terebinthinae, Pix liquida (Pharm. germ., austr., helv.); *Pinus montana* liefert Ol. Pini Pumilionis (Pharm. austr., helv.). — *Pinus silvestris*: Turio Pini (Pharm. helv.).

4. Ordnung. Gnetinae (8).

Die einzige Familie dieser Ordnung ist die der *Gnetaceae*. Nur drei Gattungen gehören ihr an: *Ephedra* (Fig. 430), blattlose Sträucher wärmerer, trockener Gegenden der ganzen nördlichen Hemisphäre, *Welwitschia mirabilis*, eine monotypische Pflanze aus den Wüsten Südwestafrikas, welche außer den Kotyledonen zeitlebens nur ein einziges Paar meterlanger, am Grunde fortwährend nachwachsender Blätter an dem nur gerade über die Oberfläche ragenden, keulig angeschwollenen Stammscheitel hervorbringt, und *Gnetum* (Fig. 431) mit breiten, netzadrigen Laubblattpaaren versehene Bäume oder Lianen der Tropen. Diese so verschieden aussehenden Gattungen stimmen überein in dem Besitze gegenständiger Blätter (bei Ephedra auf Schuppen beschränkt),

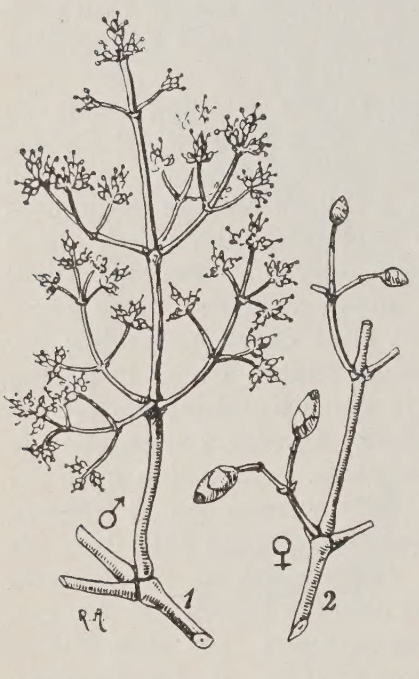


Fig. 430. Ephedra altissima. *1* Habitus eines männlichen Blütenstandes und *2* eines unreifen Fruchtstandes. $^2/_3$ nat. Gr.

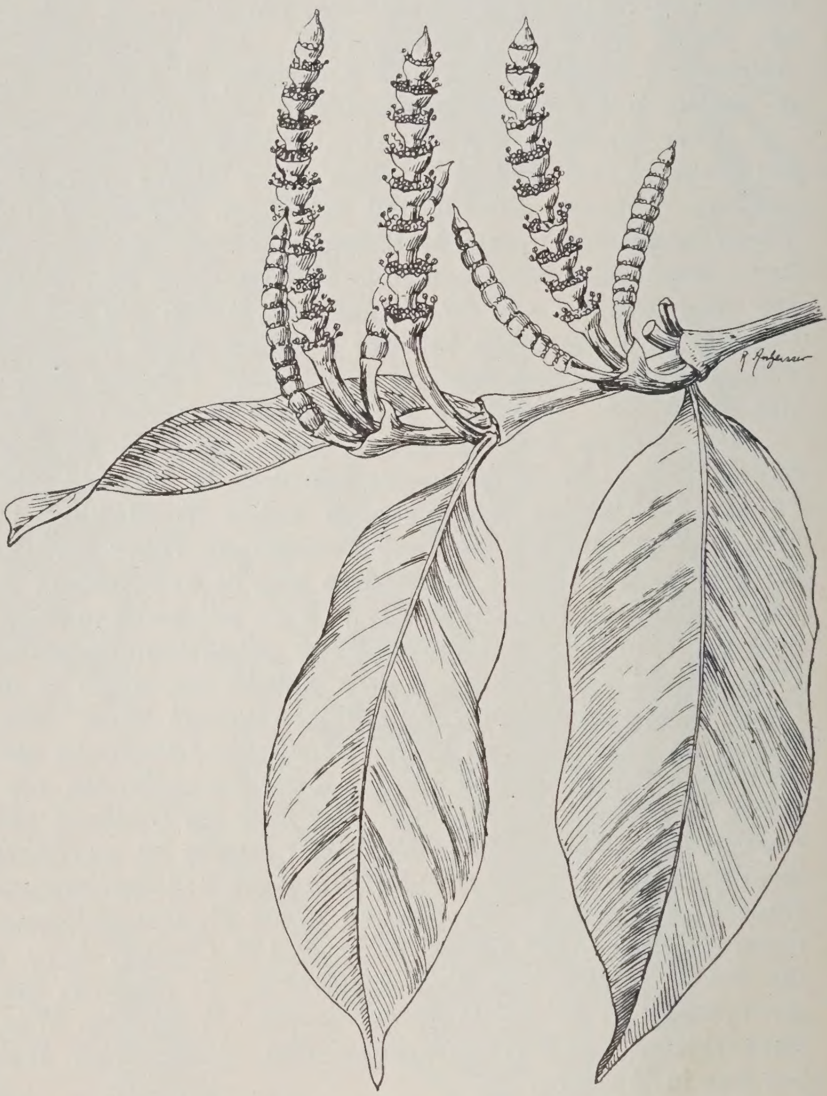


Fig. 431. Gnetum Gnemon. Zweig mit männlichen Blütenständen. $^1/_2$ nat. Gr.

in der Entwicklung echter Gefäße im sekundären Holz und Fehlen der Harzgänge, endlich in dem Auftreten einer Hülle in den meist diöcisch verteilten Blüten (Fig. 432).

Wegen mancher Übereinstimmung mit den Gymnospermen wie den Angiospermen ist die Familie geeignet, den Übergang zu vermitteln. Die Entwicklung der Geschlechtsgeneration ist bei den einzelnen Gattungen ebenso verschieden wie ihr äußerer Habitus.

Die Mikrosporen-Entwicklung und -Keimung zeigen keine Abweichungen von den übrigen Gymnospermen. Makrosporen von Ephedra und Welwitschia entwickeln ein wohlausgebildetes Prothallium, dessen Archegonien bei der letzteren Pflanze freilich auf je eine lang schlauchförmig in das Nucellusgewebe vordringende Zelle beschränkt sind.

Gnetum dagegen bildet teils gar kein Prothallium, sondern zeigt den Embryosack lediglich mit zahlreichen im Plasma verteilten Eikernen gefüllt, oder entwickelt ein Prothalliumgewebe im unteren Embryosackabschnitte, während der obere dem ganzen Embryosacke der übrigen Gnetumarten sich gleich verhält. Die beiden generativen Zellen des Pollenschlauches verschmelzen mit je einem Eikern. Von allen beim Eindringen mehrerer Pollenschläuche in größerer Zahl entstandenen Zygoten kommt nur ein Embryo zu voller Entwicklung (Fig. 433, 434).

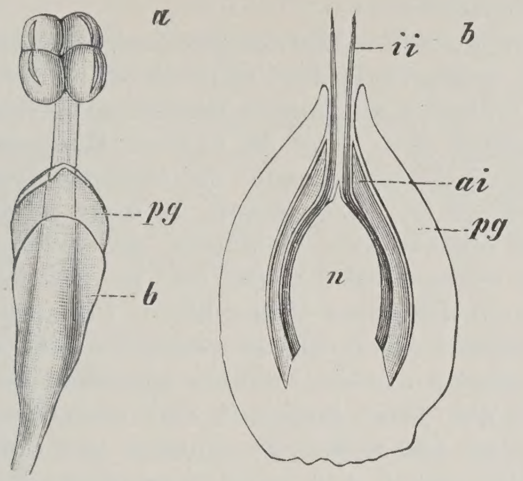


Fig. 432. *a* Ephedra altissima. Männliche Blüte. Vergr. 16. *pg* Perigon, *b* Blatt. — *b* Längsschnitt durch eine weibliche Blüte von Gnetum Gnemon. (Nach Lotsy.) Vergr. 32. *n* Nucellus, *ii* inneres, *ai* äußeres Integument, *pg* eine weitere integumentartige Hülle, die als Perigon gedeutet worden ist.

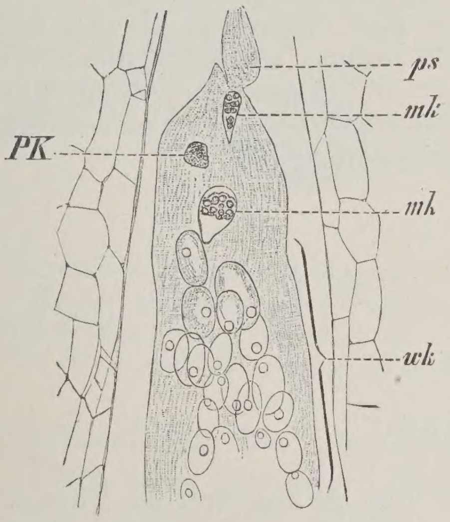


Fig. 434. Gnetum Rumphianum. Embryosackscheitel kurz vor der Zygotenbildung. *wk* Weibliche Kerne, *mk* männliche Kerne, *ps* Pollenschlauch, *PK* desorganisierter Pollenschlauchkern. Vergr. 250.

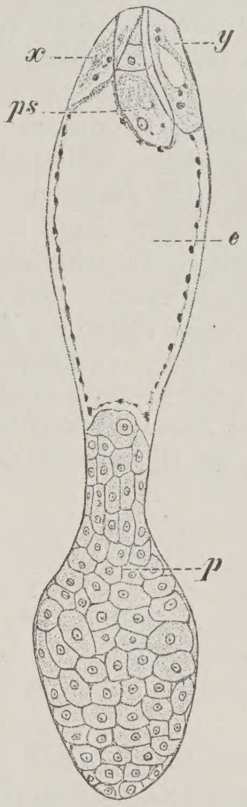


Fig. 433. Gnetum Gnemon. Embryosack nach Lotsy. Vergr. 66. *e* oberer Teil mit freien Kernen, *p* mit Prothalliumgewebe gefüllter unterer Teil, *ps* Pollenschlauch, *x y* zwei nicht zu voller Entwicklung gelangte weitere Embryosäcke,

Die fossilen Gymnospermen ([9]).

Reste von Gymnospermen sind, im Gegensatz zu den Pteridophyten, in silurischen Schichten bisher nicht gefunden; sie treten erst im Devon auf, jedoch nur spurenweise, und wurden bisher nur in Nordamerika nachgewiesen. Es sind einige Fragmente von Blättern, die auf *Cordaïtes* zurückgeführt werden, einen auf die paläozoischen Epochen beschränkten, höchst eigenartigen Typus, den ältesten der Gymnospermen und überhaupt der Phanerogamen, nach den bisherigen Befunden. Dank ihrer vorzüglichen Erhaltung sind die Cordaïten morphologisch ebenso genau bekannt wie die jetzt lebenden Gymnospermen. Es waren hohe Bäume mit bandförmigen oder breiten

und gelappten Blättern und mit von den jetzigen Gymnospermen sehr abweichenden Blüten. Phylogenetisch wichtig ist der Umstand, daß das männliche Prothallium einen mehrzelligen Gewebekörper darstellt. Die Struktur der Samenanlage und der Samen zeigt große Ähnlichkeit mit den Cycadaceen.

Abgesehen von wenig zahlreichen Resten (*Cycadites*, *Dicranophyllum*), welche die einen mit Zweifel zu Cycadinen, andere mit größerer Wahrscheinlichkeit in die Verwandtschaft der Ginkgoinen rechnen, stellt Cordaïtes im ganzen Karbon den einzigen, aber sehr reich entwickelten Gymnospermentypus dar. Erst im unteren Rotliegenden zeigen sich zweifellose *Cycadaceen.* In höheren Schichten kommt die Gattung *Walchia* zum Vorschein, deren Verwandtschaft zweifelhaft ist; sie erinnert in ihren allein bekannten vegetativen Organen an die niedrigst organisierten Koniferen, die Araucarien. Im oberen Rotliegenden treten unzweifelhafte Ginkgoinen (*Baiera*) und zu *Walchia* ein neuer erloschener, anscheinend zu den Koniferen gehöriger Typus hinzu, *Ullmannia.*

Mit dem Rotliegenden schwinden die Cordaïten. Die Gymnospermenflora geht durch Cycadinen, Ginkgoinen und Koniferen erloschener Typen (*Voltzia*, angeblich zu den Taxodieen gehörig, im Buntsandstein) durch die Trias hindurch und findet im Jura eine mächtige Entwicklung, indem die Ginkgoinen mit zahlreichen Formen und auch die Cycadinen ihren Höhepunkt erreichen. Im Jura zeigen sich echte *Araucarien*, welche, wie auch aus ihrer Organisation zu schließen ist, die ältesten Koniferen darstellen.

Im Wealden herrschen unter den Gymnospermen noch die Cycadinen und Ginkgoinen mit einigen Koniferen; in der eigentlichen Kreide treten die altertümlichen Typen immer mehr zurück, während die Koniferen immer zahlreicher werden. Unter ihnen zeigen sich bereits gegenwärtige Gattungen, wie *Dammara*, *Sequoia*, *Pinus*, *Cedrus*, *Abies*, *Callitris* usw. Auch die *Taxaceen* scheinen vertreten zu sein, doch ist die Zugehörigkeit der Reste zweifelhaft.

Die Gymnospermen des Tertiärs gehören durchaus noch lebenden Typen, zum großen Teile noch lebenden Arten an. Koniferen sind vorherrschend, von *Ginkgoinen* ist nur *Ginkgo biloba* vorhanden und zwar auch in Europa, zusammen mit anderen jetzt auf Ostasien oder Nordamerika beschränkten Arten, wie *Cryptomeria japonica*, *Taxodium distichum* und *heterophyllum* (China), *Sequoia gigantea* und *sempervirens*, *Pinus Strobus* usw. Auch eine Cycadacee (*Encephalartos*) hat sich gefunden.

Zweite Klasse.

Angiospermae (10).

Die Unterschiede, welche angiosperme und gymnosperme Pflanzen aufweisen, finden in der Nacktsamigkeit der letzteren, der Bedecktsamigkeit der ersteren einen kurzen und darum guten Ausdruck, doch erst eine genauere Darlegung der Angiospermenblüte, ihres Aufbaues und ihrer Ausrüstung gegenüber derjenigen der Gymnospermen wird uns ermöglichen, das gegenseitige Verhältnis dieser beiden großen Klassen der Phanerogamen richtig zu erkennen.

Die **Angiospermenblüte.** Während die Gymnospermen ihre männlichen und weiblichen Sporophylle auf verschiedene Blüten, oder gar verschiedene Individuen verteilen, und sie meist ohne irgendwelche besondere Hülle aus den vegetativen Organen hervorsprossen lassen, ist bei den Angiospermen eine Vereinigung beider Geschlechter in einer Blüte, die danach zwitterig oder hermaphroditisch heißt, und ihre Umhüllung durch farbige, d. h. vom grünen Laubblatt unterschiedene, Hüllblätter, insgesamt Perianth genannt, die Regel. Der spiraligen Anordnung gymnospermer Sporophylle an den langgestreckten Achsen ihrer eingeschlechtigen oder diklinen Blüten gegenüber fällt die wirtelige Stellung der Hüllblätter wie der Sporophylle um

sehr verkürzte Achsen in den angiospermen Blüten auf. Wirtelige Stellung der verschiedenen Blütenblätter, farbiges Perianth und Zwitterigkeit sind also charakteristisch für Angiospermenblüten — aber, wie gleich hervorgehoben werden mag, durchaus nicht ohne jede Ausnahme allen Angiospermenblüten eigen. Der wichtige Faktor der Pollenübertragung ist für diese Verschiedenheiten verantwortlich zu machen. Wo der Wind, wie bei den Gymnospermen oder den Kätzchenblütern unter den Angiospermen, dieser Funktion dienstbar ist, gereicht die Streckung der Achse, die hüllenlose Stellung der weiblichen Empfängnisorgane nur zum Vorteil. Sind aber Tiere, Insekten oder Vögel, für die Bestäubung in Anspruch genommen, so ist Ausbildung des Perianths als eines weithin sichtbaren Schauapparates, oder anderer auf Geruchs- oder Geschmackssinn wirkender Lockmittel notwendig und die Form der Blüte, Anordnung ihrer Sporophylle, wie der Orte für Nektarabsonderung müssen sich der Körperform oder den Gewohnheiten der betreffenden Tiere anbequemen (vgl. S. 250 ff.).

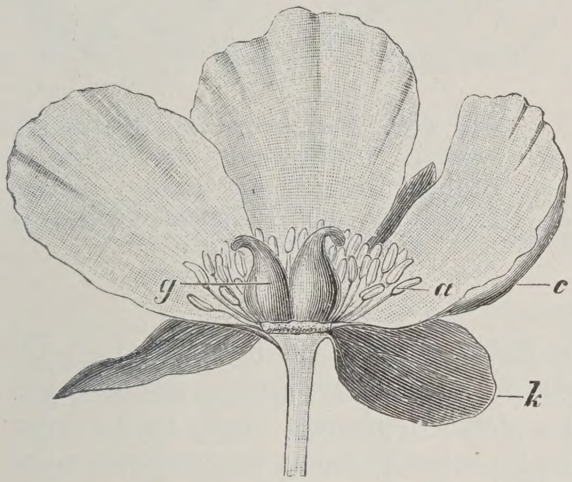


Fig. 435. Blüte von Paeonia peregrina, *k* Kelch, *c* Krone, zusammen das Perianth, *a* Andröceum, *g* Gynöceum, vorderer Teil der Blüte entfernt. 1/2 nat. Gr.

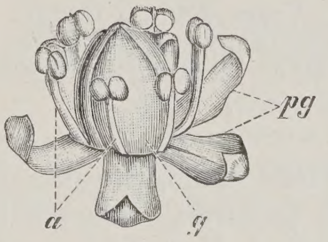


Fig. 436. Blüte von Acorus Calamus nach ENGLER. Vergr. *pg* Perigon, *a* Andröceum, *g* Gynöceum.

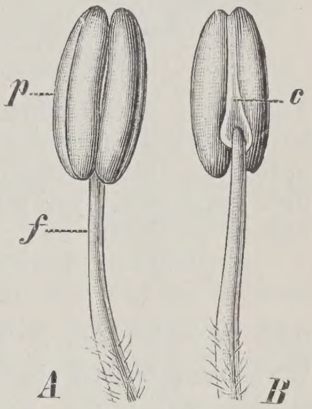


Fig. 437. Staubblätter von Hyoscyamus niger. *A* von vorne, *B* von hinten, *f* das Filament, *c* das Konnektiv, *p* die Theca. Vergr.

Diesem Umstande ist der unendliche Farben- und Formenreichtum angiospermer Blüten zuzuschreiben. Man unterscheidet danach anemophile, entomophile, ornithophile usw. Blüten.

Das Perianth (Fig. 435, 436) besteht aus zwei Wirteln, welche gleich geformt und gefärbt sein können, dann auch wohl Perigon genannt werden, oder sich in einen äußeren grünen Kelchblattkreis, einen inneren gefärbten Kreis, die Krone oder Corolle, gliedern. In jeder vollständigen Blüte folgen zwei Kreise von Mikrosporophyllen oder Staubblättern auf das Perianth, und ein Wirtel der Fruchtblätter, Makrosporophylle, beschließt die Blüte. Die Wirtel alternieren der Regel nach. Die gesamten Staubblätter pflegt man als Andröceum, die Fruchtblätter als Gynöceum zusammenzufassen.

Jedes Staubblatt besteht aus einem fadenförmigen Träger, dem Filament, und der Anthere, welche aus zwei Paaren von Pollensäcken, den Thecae, zusammengesetzt ist; zwischen ihnen wird das Konnektiv als Verbindungsstück eingeschaltet (Fig. 437). Die Anthere kann ihre Thecae der Innenseite der Blüte, also dem Fruchtblattkreise, zuwenden oder sie nach außen kehren; sie heißt danach introrse oder extrorse Anthere. Der Öffnung einer reifen Theca dient meist (Ausnahme *Ericaceae*) die eigenartige Ausbildung der hypodermalen Wandschicht, „fibröse Schicht“, oder Endothecium genannt, während die Gymnospermen, bis auf Ginkgo (vgl. S. 383), gleich den Farnen

ihre „aktiven Zellen“ in der äußeren Zellage führen. In der Regel wird die Scheidewand zwischen den beiden Pollensäcken dabei zerstört, so daß beide gleichzeitig geöffnet werden. Die Mikrosporen selbst sind in ihrer Ausrüstung verschieden; bei anemophilen Pflanzen, auf die Verbreitung durch den Wind angewiesen, sind sie glatt und leicht. Bei den von Tieren besuchten Blüten dagegen pflegen sie klebrig oder mit Stacheln und Vorragungen der Exine versehen zu sein, die ein besseres Haften am Haarkleid

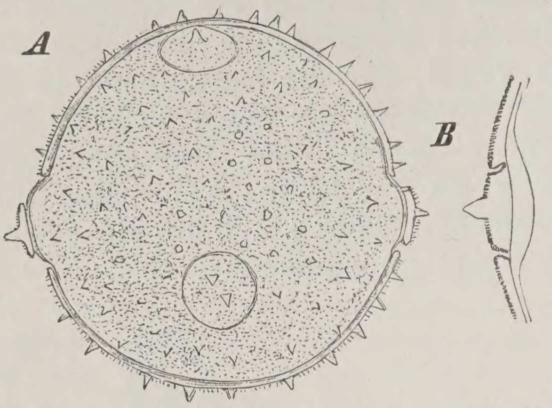


Fig. 438. *A* Cucurbita Pepo. Ganzes Pollenkorn in Flächenansicht und zum Teil auch im optischen Durchschnitt. Vergr. 240. *B* Cucurbita verrucosa. Teil eines Querschnittes durch das Pollenkorn mit einer deckelartig umschriebenen Austrittstelle. Vergr. 540.

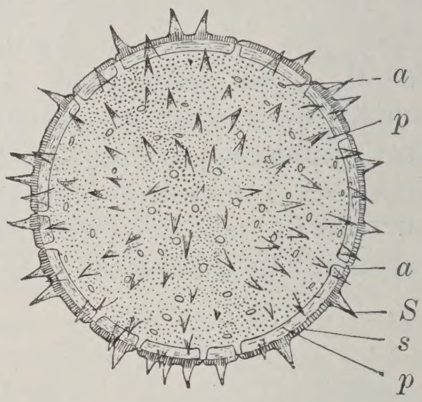


Fig. 439. Pollenkorn von Malva silvestris. *S* Stacheln der Exine, *s* Stäbchenschicht der Exine, *a* Austrittstelle der Pollenschläuche, *p* Stäbchen von oben. (Nach A. Meyer.)

der bestäubenden Tiere ermöglichen. Sie unterscheiden sich von denen der Gymnospermen auch dadurch, daß bei ihrer Keimung die Exine nicht völlig abgeworfen zu werden braucht, sondern von vornherein mit mehr oder weniger zahlreichen Durchtrittsstellen für die Pollenschläuche ausgerüstet wird (Fig. 438, 439). Durch Verwachsung und Verzweigung kommen mannig-

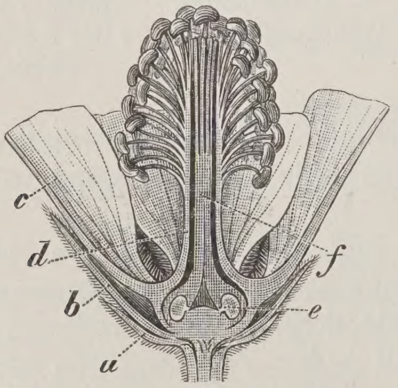


Fig. 440. Althaea officinalis. Längsdurchschnittene Blüte. *a* Außenkelch, *b* Kelch, *c* Corolle, *d* Andröceum, *e* Fruchtknoten, *f* Griffel. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.)

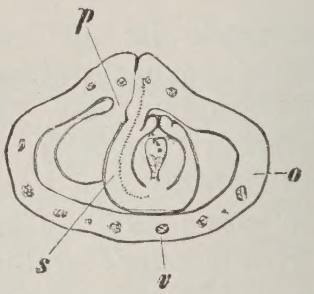


Fig. 441. Delphinium Ajacis. Querschnitt durch den Fruchtknoten mit Samenanlagen *s* an den Placenten *p*, *o* Fruchtknotenwand, *v* Gefäßbündel. Vergr. 18.

fache Veränderungen des Andröceums vor, die im speziellen Teil Erwähnung finden werden. Sterile Staubblätter, welche keinen fruchtbaren Pollen hervorbringen, werden Staminodien genannt.

Den Abschluß der Blüte bildet stets das Gynöceum. Seine Fruchtblätter, oder Carpelle, können frei bleiben und jedes für sich eine Frucht bilden; man spricht dann von einem apokarpen Gynöceum, oder sie verwachsen miteinander zum Fruchtknoten und stellen ein synkarpes

Gynöceum dar. Die Fruchtblätter tragen ihre Samenanlagen ebenso wie bei den Cycadaceen am Rande auf mehr oder weniger deutlichen Wucherungen, den Placenten. Apocarpe Fruchtknoten werden demnach an ihren beiden zusammenschließenden Rändern je eine Reihe von Samenanlagen führen, an der sogenannten Bauchnaht (Fig. 441); die ihr gegenüberstehende Rückennaht wird von der Mittelrippe des Blattes gebildet. In syncarpen Fruchtknoten treten die Samenanlagen ebenfalls an den Rändern der miteinander verwachsenden Fruchtblätter auf (Fig. 442 *D*). Sie werden

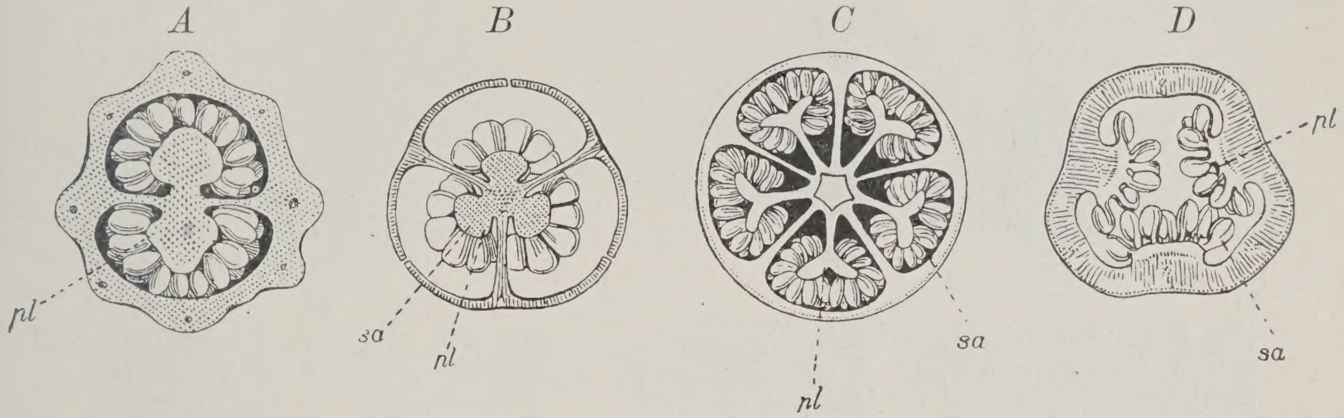


Fig. 442. Querschnitte von Fruchtknoten, *A* Lobelia. *B* Diapensia. *C* Rhododendron. *D* Passiflora, *pl* Placenta, *sa* Samenanlagen. (Nach LE MAOUT et DECAISNE.)

parietal genannt, wenn die Placenten der Wandinnenseite als flache Wülste anliegen. Tritt durch weiteres Eindringen der Carpellränder eine Fächerung des Fruchtknotens ein, so rücken die Placenten und ihre Samenanlagen ebenfalls nach innen vor; sie werden centralwinkelständig, wie Fig. 442 *B* zeigt. Nur solche aus den Carpellrändern selbst gebildete Scheide-

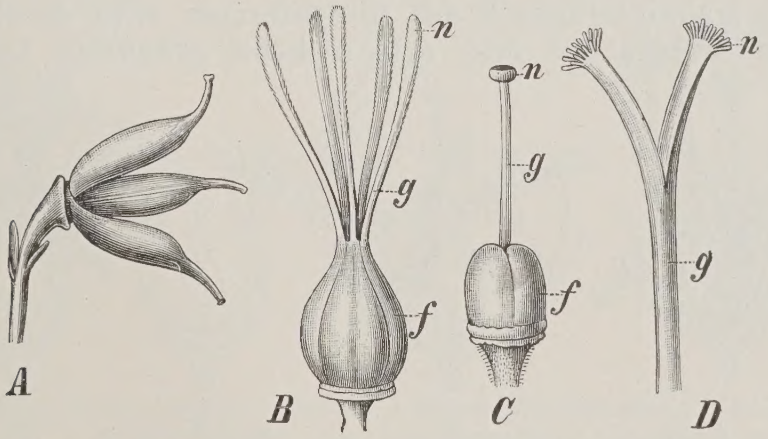


Fig. 443. Verschiedene Formen des Gynöceums. *A* von Aconitum Napellus. *B* von Linum usitatissimum. *C* von Nicotiana rustica. *D* Griffel und Narbe von Achillea Millefolium. *f* Fruchtknoten, *g* Griffel, *n* Narbe. Vergr. (Nach BERG und SCHMIDT.)

wände pflegt man als echte zu bezeichnen gegenüber den z. B. bei Cruciferen vorhandenen falschen, die aus Wucherungen der Fruchtblätter oder ihrer Nähte hervorgehen. Durch Beteiligung der Blütenachse, welche im Centrum zwischen den Fruchtblättern emporwächst und sich von dem Carpellgewebe nicht scharf trennen läßt, kommt eine sogenannte Centralplacenta zu stande. Die ursprünglich vorhandenen Scheidewände bleiben schon in frühem Alter im Wachstume zurück, oder werden aufgelöst, so daß die mitemporgehobenen Samenanlagen an einer centralen, vom Gewebe

der Fruchtblätter überkleideten Achse sitzen und von den Außenteilen der Fruchtblätter als einheitlicher Wand umgeben werden.

Jedes einzelne Fruchtblatt setzt sich nach oben in den stielartigen Griffel (Stylus) fort und endet in einer sehr verschieden gestalteten Narbe (Stigma), die als Empfängnisapparat dient und dementsprechend papillös, feucht und klebrig beschaffen zu sein pflegt. In einem völlig syncarpen Fruchtknoten ist nur ein einheitlicher Griffel und eine Narbe vor-

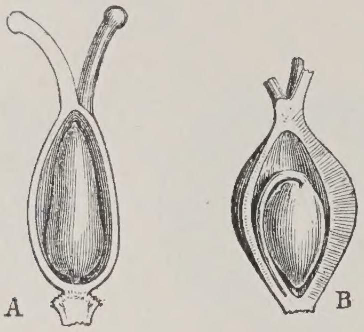


Fig. 444. Fruchtknoten mit aufrechter Samenanlage, im Längsschnitte. *A* von Fagopyrum esculentum (atrop). *B* von Armeria maritima (anatrop). Vergr. 20. (Nach DUCHARTRE.)

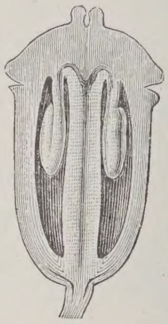
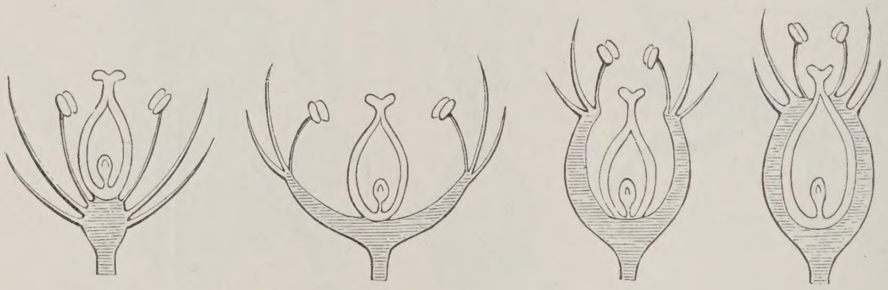


Fig. 445. Fruchtknoten von Foeniculum officinale mit hängenden Samenanlagen im Längsschnitte. Vergr. (Nach BERG und SCHMIDT.)

handen. Fig. 443 stellt einen apocarpen (*A*), einen syncarpen (*C*) und einen nur im unteren Teil verwachsenen (*B*) Fruchtknoten mit freien Griffeln dar.

Die Lage der Samenanlage im Fruchtknoten kann aufrecht, hängend, wagerecht oder schräg zur Achse orientiert sein (Fig. 444, 445). Bei anatropen Samenanlagen ist die Raphe ventral gelegen, wenn sie der Bauchseite des Fruchtblattes zugekehrt ist, dorsal wenn sie gegen die Rückenseite sieht.

Eine große Mannigfaltigkeit der Blütenformen wird durch verschiedene Gestaltung der Blütenachse und entsprechend geänderte Lage des Gynö-



A *B* *B'* *C*

Fig. 446. *A* Oberständiger Fruchtknoten (hypogyne Blüte). *B B'* mittelständiger Fruchtknoten (perigyne Blüte). *C* unterständiger Fruchtknoten (epigyne Blüte).

ceums bedingt. Die schematischen Figuren geben einige der häufigeren Fälle wieder (Fig. 446 *A*—*D*). Eine Verdickung des Achsenendes gegenüber dem Tragstiele ist meist vorhanden, häufig eine Verbreiterung und Vorwölbung oder Aushöhlung und Vertiefung. Stehen an einfach kegelförmiger Achse die Quirle der Blüte übereinander, so ist das Gynöceum als Abschluß der oberste Kreis, es ist oberständig, die Blüte selbst wird also unterständig oder hypogyn (Fig. 447). Wird aber durch starke Verbreiterung des Achsenendes zu einem flachen Blütenboden, Receptaculum (Hypanthium),

oder einem ausgehöhlten Blütenbecher ein breiter Rand zwischen Andröceum und Gynöceum eingeschoben, so spricht man von einer perigynen Blüte, einem mittelständigen Fruchtknoten (Fig. 448 *1*, *2*). Schließt sich endlich die ausgehöhlte Blütenachse mit ihren das Andröceum tragenden Rändern oben wieder zusammen, so daß die Fruchtblätter mit ihr verwachsen, so ist das Gynöceum unterständig, die Blüte oberständig (Fig. 448 *3*). Der Deutlichkeit halber soll im folgenden stets die Bezeichnung von der Stellung des Gynöceums hergeleitet werden, also nur vom ober-

Fig. 447. Hypogyne Blüte von Ranunculus sceleratus mit zahlreichen oberständigen Fruchtknoten auf kegelförmiger Blütenachse. Vergr. (Nach BAILLON.)

ständigen, mittelständigen oder unterständigen Fruchtknoten die Rede sein.

Biologisch wichtige Gebilde der Blüte sind endlich die Nektarien, bestimmte Stellen der Achse oder anderer Blütenteile, die zuckerreiche Flüssigkeit zur Anlockung der bestäubenden Tiere ausscheiden (Diskus).

Eine typische Angiospermenblüte führt ihre Organe nach diesen Ausführungen also in fünf miteinander alternierenden Wirteln, von denen zwei auf das Perianth, zwei auf das Andröceum, einer auf das Gynöceum entfallen.

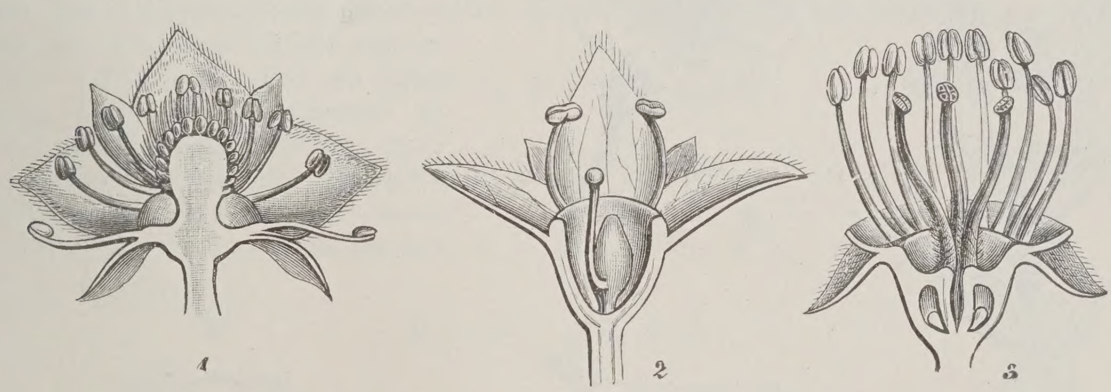


Fig. 448. Längsschnitte durch Rosaceenblüten. *1* Potentilla palustris, *2* Alchemilla alpina, *3* Pirus Malus. *1* und *2* perigyne Blüte oder mittelständiger Fruchtknoten, *3* unterständiger Fruchtknoten oder epigyne Blüte. Vergr. (Nach FOCKE in Natürl. Pflanzenfamilien.)

Sie ist fünfwirtelig, pentacyclisch. Die Zahl der Glieder ist entweder für alle Wirtel dieselbe, so z. B. für eine regelmäßige Monokotylenblüte drei, eine Dikotylenblüte fünf, oder es tritt besonders innerhalb der zum Andröceum und Gynöceum gehörenden Wirtel eine Vermehrung oder Verminderung der Zahl ein.

Einige häufig wiederkehrende Abweichungen von dem soweit geschilderten Bau mögen gleich hier Erwähnung finden. Häufig sind Veränderungen in der Zahl der Wirtel, entweder eine Verminderung, etwa durch Fehlen eines Geschlechtes bei diklinen Blüten (Myristica), oder durch Fehlen eines der beiden Perianth- oder Andröceum-

wirtel (Compositen). Blüten mit nur einem Andröceum-Wirtel heißen haplostemon, solche mit zwei Wirteln diplostemon. Ebenso kommt auch eine Vermehrung der Wirtelzahl vor, sei es im Andröceum (*Rosa*) oder im Perianth (*Hagenia abyssinica*) oder im Gynöceum (*Punica Granatum*). Eine ebenfalls einfache

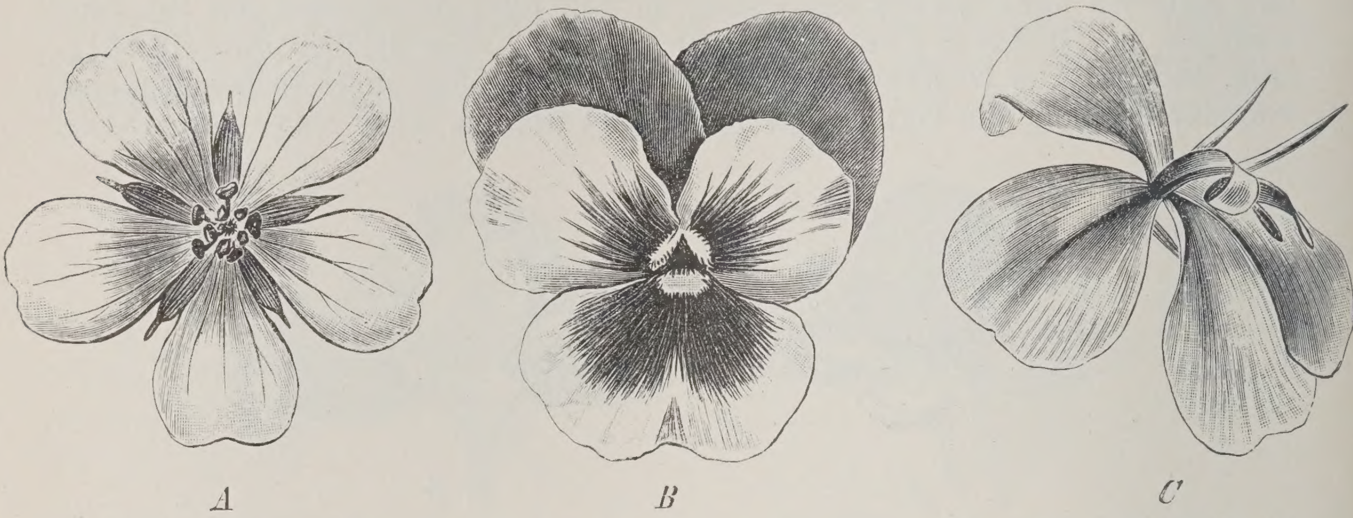


Fig. 449. *A* Radiäre (actinomorphe) Blüte von Geranium sanguineum. *B* Dorsiventrale (zygomorphe) Blüte von Viola tricolor. *C* Asymmetrische Blüte von Canna indica.

Modifikation betrifft die Stellung der Wirtel. Der äußere Andröceumwirtel (und dementsprechend die Fruchtblätter) steht z. B. bei *Erica* nicht alternierend mit dem Kronblattwirtel, sondern direkt vor ihm. Ein solches Andröceum wird als obdiplostemon von dem gewöhnlichen diplostemonen unterschieden.

Wichtiger für den allgemeinen Habitus wie für die Biologie sind vielfach die Änderungen der Blütensymmetrie. Es ist bisher vorausgesetzt gewesen, daß regelmäßige Blüten vorlagen, die durch mehr als zwei ihre Achse treffende Schnitte spiegelbildlich gleiche Teile ergeben. Solche Blüten heißen strahlig oder radiär oder actinomorph (Fig. 449 *A*). Lassen sich nur gerade zwei derartige Schnittebenen ausfindig machen, so spricht man von bisymmetrischen oder bilateralen Blüten, z. B. Dicentra (Fumariaceae). Durch Verschiebung ihrer Glieder, ungleiche Größe oder Unterdrückung einzelner, sind aus dem ursprünglich strahligen Bau abweichende Ge-

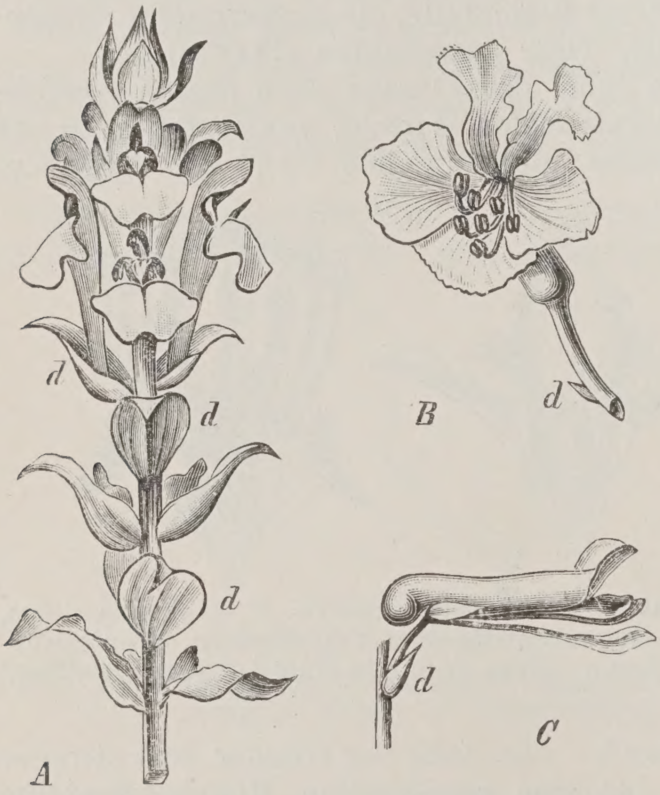


Fig. 450. Blüten von *A* Scutellaria alpina, median dorsiventral; *B* Aesculus Hippocastanum, schräg dorsiventral; *C* Corydalis lutea, transversal dorsiventral; *d* Deckblätter.

Fig. 451. Diagramm einer pentacyclischen Monokotylenblüte.

stalten hervorgegangen, die entweder nur durch eine einzige, ihre Achse treffende Schnittlinie (Symmetrieebene) zwei gleiche Teile ergeben; sie heißen dann *dorsiventral* (*symmetrisch*, *zygomorph*), oder aber *völlig asymmetrisch* geworden sind (Fig. 449 *B* u. *C*) (vgl. S. 12). Dorsiventrale Blüten sind in hohem Grade an Insektenbestäubung angepaßte Formen, die immer eine ganz bestimmte Lage zur Richtung der Schwerkraft anzunehmen pflegen. Fällt Symmetrieebene und *Mediane*, d. h. die durch Tragachse und Blütenachse gelegte Ebene, zusammen, so ist die Blüte *median dorsiventral* (Fig. 450 *A*), bilden beide einen spitzen Winkel, so heißt sie *schräg dorsiventral*, und endlich *quer* oder *transversal dorsiventral*, falls beide um einen rechten Winkel voneinander abweichen (Fig. 450 *B* u. *C*). Unter *Pelorien* versteht man radiäre Mißbildungen sonst dorsiventraler Blüten.

Entwirft man nun ein *Diagramm* (vgl. S. 12) einer fünfwirteligen Monokotylenblüte, etwa nach dem Querschnitte durch eine noch geschlossene Knospe und orientiert es derart, daß der Querschnitt der Inflorescenzachse oben, derjenige des Tragblattes unten sich befindet, so erhält man nebenstehende Fig. 451. Zu einem kurzen Ausdruck eines solchen Diagramms bedient man sich der sogen. Blütenformeln, d. h. man setzt für jeden Wirtel ein Buchstabenzeichen, etwa Kelch = K, Krone = C, oder aber Perigon = P, Andröceum = A, Gynöceum = G und die Zahl der Glieder im Wirtel dahinter. Die Blütenformel für das Monokotylendiagramm würde also lauten müssen: P 3 + 3, A 3 + 3, G 3. Bei starker Vermehrung der Glieder kann das Zeichen ∞ gesetzt werden, das soviel wie sehr viele oder unbestimmt viele heißen würde. Eine weitere Vervollständigung können solche Blütenformeln dadurch erfahren, daß Verwachsung der Glieder eines Wirtels durch eine Klammer um die betreffende Zahl, die Stellung des Fruchtknotens durch einen *unter* (oberständig) oder *über* (unterständig) der Zahl angebrachten Strich, der die Insertionshöhe der übrigen Blütenwirtel angeben soll, angedeutet wird. Auch die Symmetrie der Blüte kann durch Voranstellung eines Pfeiles bei dorsiventralen Blüten zum Ausdruck gelangen, dessen Richtung den unterschiedenen Arten der Dorsiventralität entsprechend gewählt werden mag. Die obige etwa einer Lilie entsprechende Blütenformel wäre also zu schreiben:

$$P\,3+3,\ A\,3+3,\ G\,(\underline{3}),$$

für eine Ranunkel:

$$K\,5,\ C\,5,\ A\,\infty,\ G\,\underline{\infty},$$

für den Goldregen:

$$\downarrow K\,5,\ C\,5,\ A\,(5+5),\ G\,\underline{1},$$

für den Schierling:

$$K\,5,\ C\,5,\ A\,5,\ G\,(\overline{2}),$$

für Artemisia endlich:

$$K\,o,\ C\,(5),\ A\,(5),\ G\,(\overline{2}).$$

Blütenstände.

Für viele angiosperme Pflanzen ist es charakteristisch, daß ihre Einzelblüten sich in großer Zahl zu besonderen Sproßsystemen vereinigen, die in mancherlei Hinsicht von den vegetativen Verzweigungen unterschieden sind, und als *Blütenstände*, *Inflorescenzen* bezeichnet werden. Nach dem Verhältnis von Haupt- und Seitenachsen innerhalb der Gesamtblütenstände werden *racemöse* Inflorescenzen mit kräftig entwickelten Hauptachsen, die ihren Seitensprossen stets überlegen bleiben, von *cymösen* Inflorescenzen getrennt, bei welchen die Seitensprosse eine kräftigere Entwicklung erfahren und ihre Hauptsprosse übergipfeln. Man könnte die ersteren auch als *monopodiale* den *sympodialen* zweiten gegenüberstellen (vgl. S. 13). Am häufigsten finden sich folgende Formen:

I. Racemöse Blütenstände.

a) Seitenachsen einfach.

1. Traube (botrys), gestielte Einzelblüten an einer verlängerten Hauptachse (Fig. 452 *A* u. Fig. 453).
2. Ähre (spica), sitzende Einzelblüten an einer verlängerten Hauptachse (Fig. 452 *B* u. Fig. 454), eine Ähre mit fleischig verdickter Achse heißt Kolben, eine Ähre, die nach dem Verblühen oder bei der Fruchtreife als Ganzes abfällt, Kätzchen (Fig. 455).
3. Dolde (umbella), gestielte Einzelblüten an einer verkürzten Hauptachse (Fig. 452 *C* u. Fig. 456).
4. Köpfchen (capitulum), sitzende Einzelblüten an einer verkürzten Hauptachse (Fig. 452 *D*).

b) Seitenachsen verzweigt.

5. Rispe (panicula), eine Hauptachse, deren Seitenachsen Trauben darstellen (Fig. 452 *E* u. Fig. 457).
6. Zusammengesetzte Dolde, eine Dolde, die an Stelle von Einzelblüten wiederum Dolden trägt (Fig. 452 *F*).

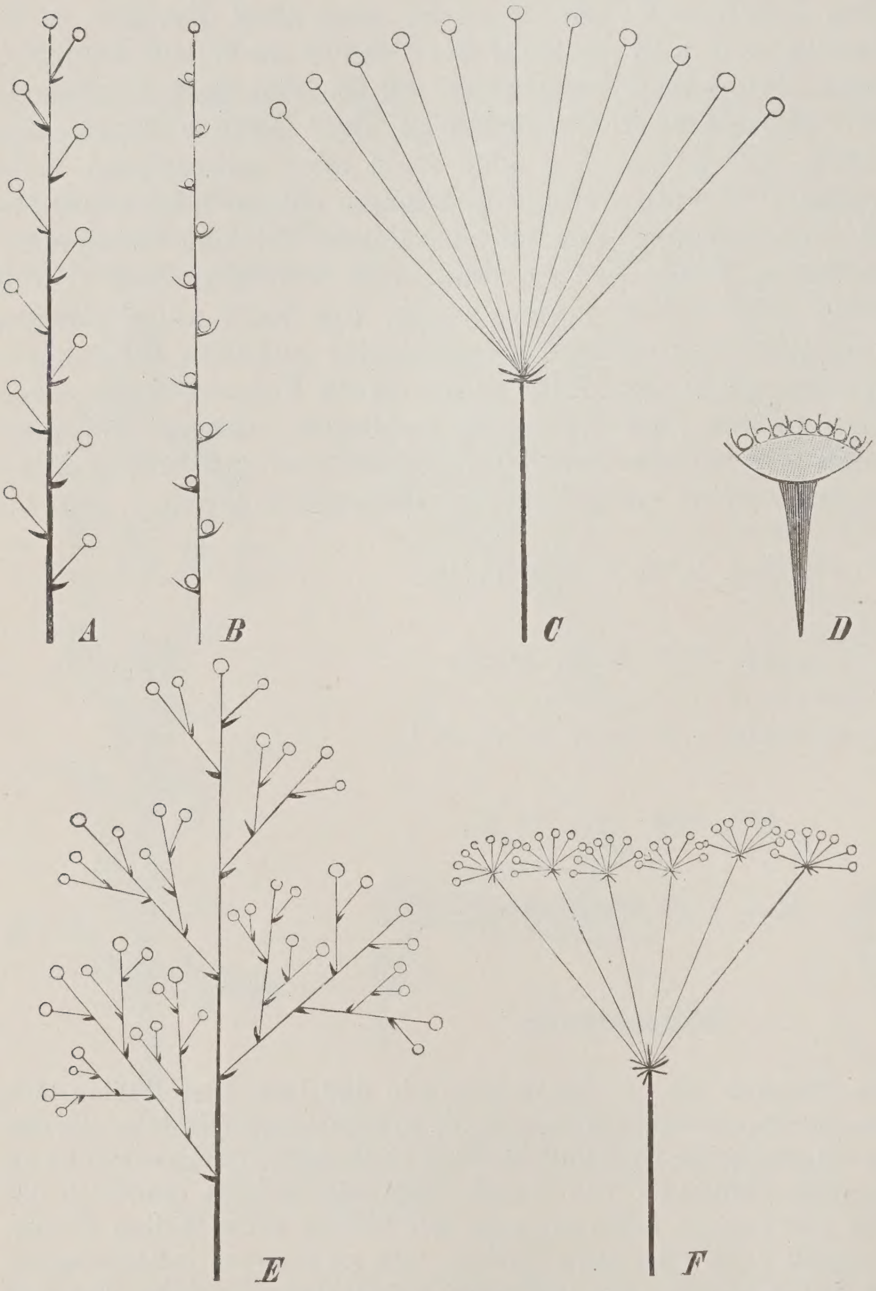


Fig. 452. Schemata racemöser Blütenstände. *A* Traube, *B* Ähre, *C* Dolde, *D* Köpfchen, *E* Rispe, *F* zusammengesetzte Dolde oder Doppeldolde.

Fig. 453. Traube von Linaria striata. Blüten mit Deckblättern *d*.

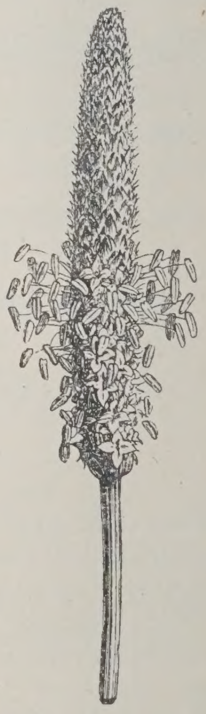


Fig. 454. Blütenähre von Plantago lanceolata. (Nach DUCHARTRE.)

II. Cymöse Blütenstände.

1. Relative Hauptachse mit je einem Seitenzweig: Monochasium.
   a) Schraubel, die Seitenachsen entstehen alle an derselben Seite (Fig. 458 *C*).
   b) Wickel, die Seitenachsen stehen abwechselnd auf verschiedenen Seiten (Fig. 458 *B* u. Fig. 459).
2. Relative Hauptachse mit je zwei Seitenzweigen: Dichasium (Fig. 458 *A* u. Fig. 460).
3. Relative Hauptachse mit mehr als zwei Seitenzweigen: Pleiochasium.

Fig. 455. Blütenkätzchen von Corylus americana. (Nach DUCHARTRE.)

Fig. 457. Blütenrispe von Yucca filamentosa. Verkl.

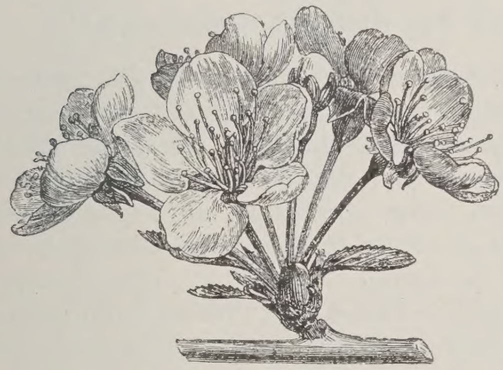


Fig. 456. Doldiger Blütenstand der Kirsche. (Nach DUCHARTRE.)

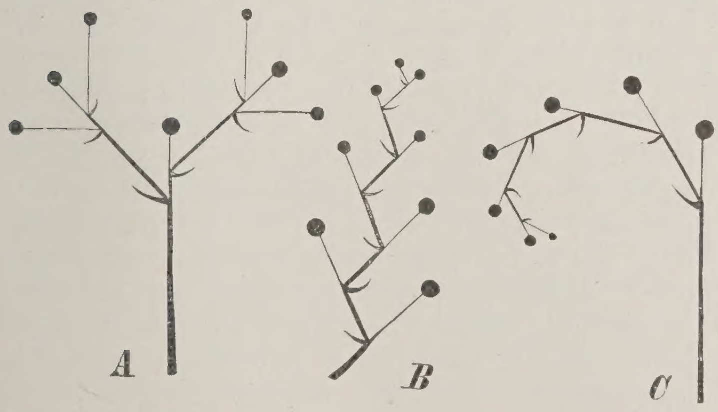


Fig. 458. Schemata cymöser Blütenstände. *A* Dichasium, *B* Wickel, *C* Schraubel.

Fig. 459. Blütenwickel von Symphytum asperrimum. (Nach DUCHARTRE.)

Fig. 460. Cymöser Blütenstand (Dichasium) von Cerastium collinum. *t–t''''* die aufeinander folgenden Achsen. (Nach DUCHARTRE.)

Wie in der vegetativen Region (vgl. S. 15) ist auch bei den Inflorescenzen die Verzweigung im allgemeinen an die Blattachseln gebunden; die betreffenden Blätter heißen Tragblätter oder Deckblätter. Weitere an den Stielen der Einzelblüten stehende Blättchen werden als Vorblätter bezeichnet. Deckblätter und Vorblätter faßt man als Hochblätter zusammen (Fig. 461).

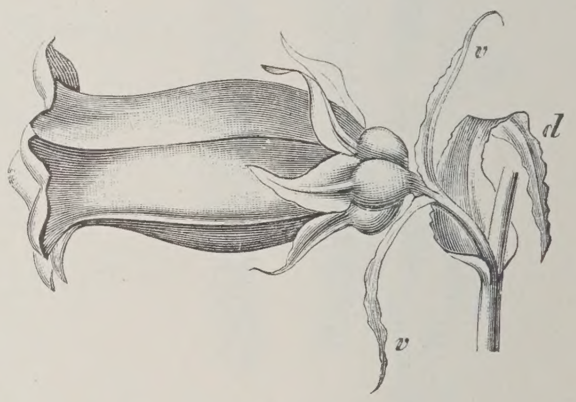


Fig. 461. Blüte von Campanula medium mit Deckblatt *d* und Vorblättern *v*.

Die Entwicklung der Geschlechtsgeneration bei den Angiospermen (11).

Die Mikrosporen der Angiospermen bilden bei ihrer Keimung eine Antheridium-Mutterzelle (Fig. 462 *m*), die sich von der großen vegetativen Schlauchzelle abtrennt, ohne eine Cellulosehaut auszuscheiden. Die antheridiale Zelle wandert in den Pollenschlauch ein und zerfällt hier früher oder später in zwei generative Zellen (Fig. 462 *g*). Meist ist der Pollenschlauchkern in ihrer Nähe zu finden (Fig. 462 *k*). Den Gymnospermen gegenüber bleibt das Fehlen der kleinen Prothalliumzellreihe mit der sterilen Schwesterzelle des Antheridiums, wie dasjenige einer Cellulosemembran um die Mutterzelle des Antheridiums, als Abweichung zu beachten. Die Rückbildung des männlichen Prothalliums ist also so weit gegangen, daß nur die unumgänglich notwendigen Teile eralten geblieben sind.

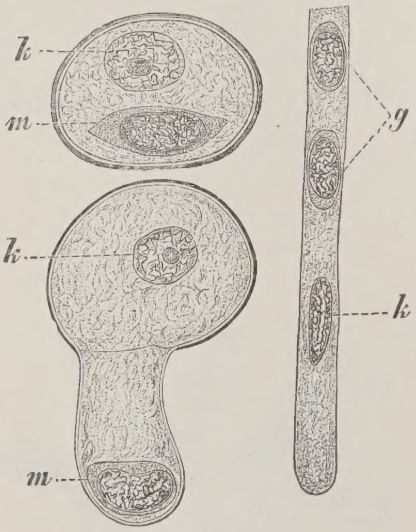


Fig. 462. Pollenkorn von Lilium Martagon und seine Keimung, nach GUIGNARD. Vergr. 375. *k* Kern der großen vegetativen Zelle des Pollenschlauches, *m* kleine Mutterzelle des Antheridiums, *g* generative Zellen.

Weibliche geschlechtliche Generation. Die für die Angiospermen charakteristische Abweichung von dem vorher allgemein geschilderten Entwicklungsgange des phanerogamen Makrosporangiums beginnt erst, wenn der bei Tetradenbildung der Makrosporenmutterzelle siegreich gebliebene Embryosack in Teilung eintritt (Fig. 463). Der „primäre Embryosackkern“ teilt sich, die Tochterkerne weichen auseinander und teilen sich abermals und zum dritten Mal. Hierauf erst tritt Zellbildung um diese Kerne ein. Im oberen, der Mikropyle zugekehrten, wie im unteren Ende des Embryosackes entstehen drei nackte Zellen; die beiden übrig bleibenden „Polkerne“ wan-

dern gegeneinander in die Mitte der Zelle und vereinigen sich zum „sekundären Embryosackkern“. Die Zellen des unteren Zellendes heißen Antipoden oder Gegenfüßlerinnen; sie entsprechen den vegetativen Prothalliumzellen, wie solche bei den Gymnospermen die ganze Makrospore füllen oder bei Gnetum Gnemon doch in ihrem unteren Ende einen massiven Gewebekörper zusammensetzen. Die drei oberen Zellen dagegen stellen den Eiapparat dar. Zwei einander gleichende seitliche werden als Synergiden oder Gehilfinnen bezeichnet, die dritte, tiefer in den Embryosack hineinragende ist die Eizelle selbst. Die Gehilfinnen vermitteln den Übertritt des Pollenschlauchinhaltes in den Embryosack. Auch hier ist also die Reduktion bis an die Grenze des möglichen gegangen; an Stelle der mehr oder minder zahlreichen Archegonien in der gymnospermen Makrospore ist nur eine Eizelle vorhanden. Eine Deutung der Synergiden dagegen stößt auf große Schwierigkeiten, wenn man sie nicht als steril gewordene Archegonien ansprechen will.

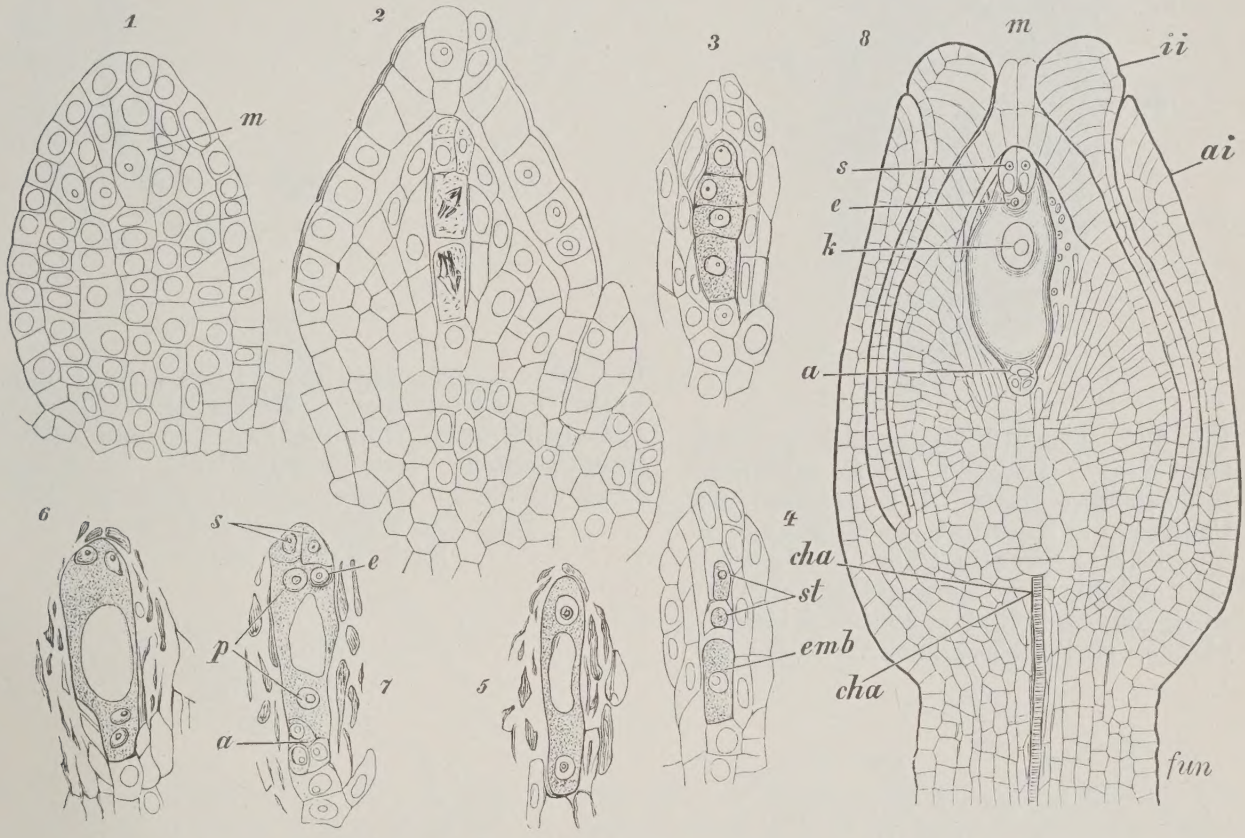


Fig. 463. Embryosackentwicklung von Polygonum divaricatum. *1*—*7* Vergr. 320, 8 Vergr. 135. *m* Embryosackmutterzelle, *emb* Embryosack, *st* sterile Schwesterzellen, *e* Eizelle, *s* Synergiden, *p* Polkerne, *a* Antipoden, *k* sekundärer Embryosackkern, *cha* Chalaza, *m* Mikropyle, *ai*, *ii* äußeres und inneres Integument, *fun* Funiculus.

Da ein direkter Zutritt der Mikrosporen zu den Makrosporen hier ausgeschlossen ist, müssen sie auf der Narbe keimen. Ihre Pollenschläuche durchwachsen die ganze Länge des Griffels und in der Regel dringt dann ein Schlauchende durch die Mikropyle zum Nucellusscheitel vor. Doch sind neuerdings zahlreiche Abweichungen davon bekannt geworden, nachdem Treub zuerst für Casuarina nachgewiesen hatte, daß hier die Pollenschläuche von der Chalaza her zu dem höchst eigenartig entwickelten, zahlreiche Makrosporen bergenden sporogenen Gewebe gelangen. Dieser sogenannten Chalazogamie — gegenüber der sonst herrschenden Porogamie — kann irgend eine erhebliche systematische Bedeutung nicht zuerkannt werden, da ähnliche Erscheinungen bei zahlreichen Pflanzen sehr verschiedener Verwandtschaft sich finden. Doch deutet ein Verhalten, wie es z. B. von Nawaschin für Ulmus bekannt gemacht ist, darauf hin, daß der Pollenschlauch all dieser Pflanzen das Durchwachsen von Hohlräumen zu vermeiden sucht, — vielleicht weil er einer fortgesetzten Ernährung seitens des umgebenden Gewebes bedarf, — so daß von diesem biologischen Gesichtspunkte aus die Chalazogamie und verwandte Erscheinungen dem Verständnisse näher gerückt werden (Fig. 464—466).

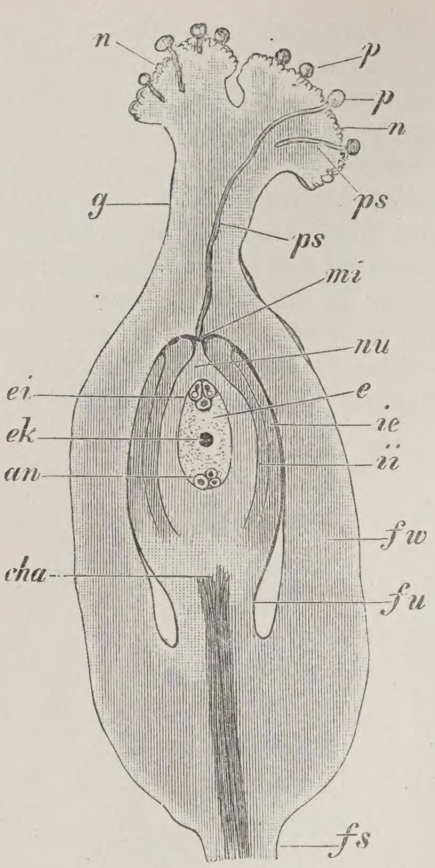


Fig. 464. Fruchtknoten von Polygonum Convolvulus während der Befruchtung. *fs* stielartige Basis, *fu* Funiculus, *cha* Chalaza, *nu* Nucellus, *mi* Mikropyle, *ii* inneres, *ie* äußeres Integument, *e* Embryosack, *ek* Embryosackkern, *ei* Eiapparat, *an* Antipoden, *g* Griffel, *n* Narbe, *p* Pollenkörner, *ps* Pollenschläuche. Vergr. 48.

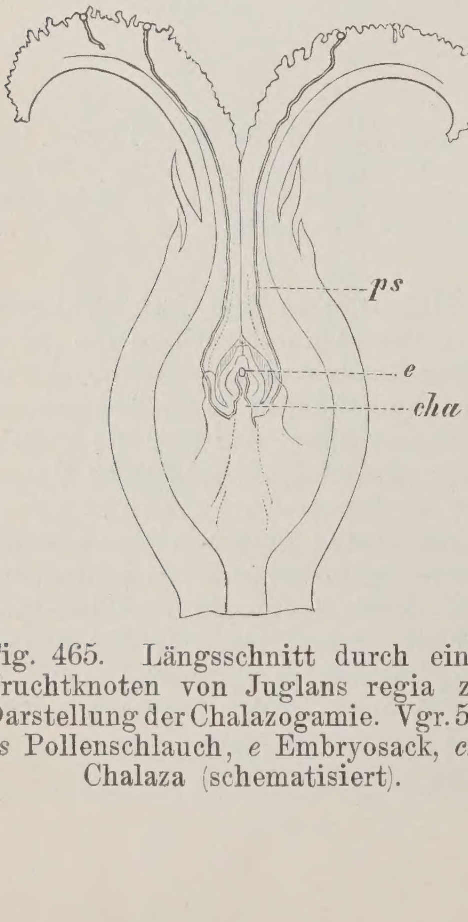


Fig. 465. Längsschnitt durch einen Fruchtknoten von Juglans regia zur Darstellung der Chalazogamie. Vgr. 5,5. *ps* Pollenschlauch, *e* Embryosack, *cha* Chalaza (schematisiert).

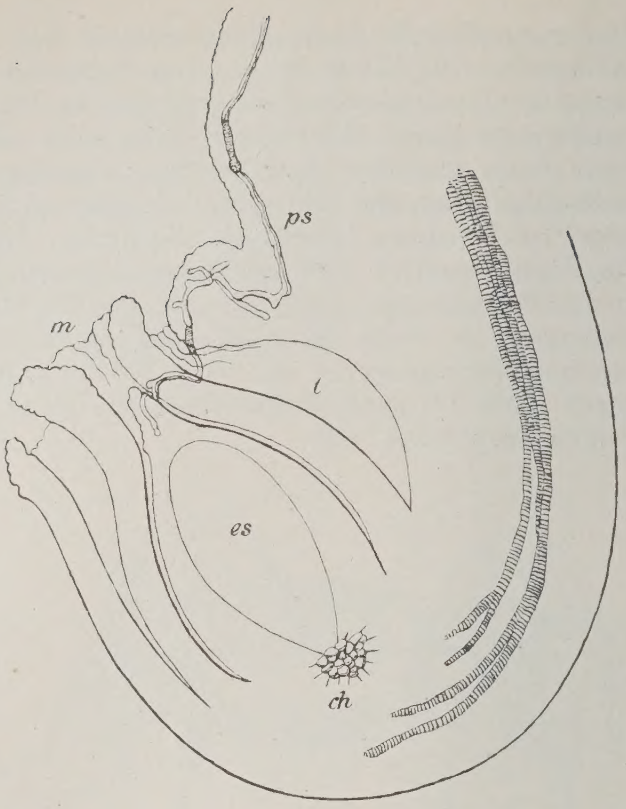


Fig. 466. Samenanlage von Ulmus pedunculata. Vergr. *es* Embryosack, *m* Mikropyle, *ch* Chalaza, *t* taschenförmige Höhlung zwischen den beiden Integumenten. Der Pollenschlauch *ps* dringt durch die beiden Integumente direkt in der Richtung des Nucellusscheitels ein. (Nach NAWASCHIN.)

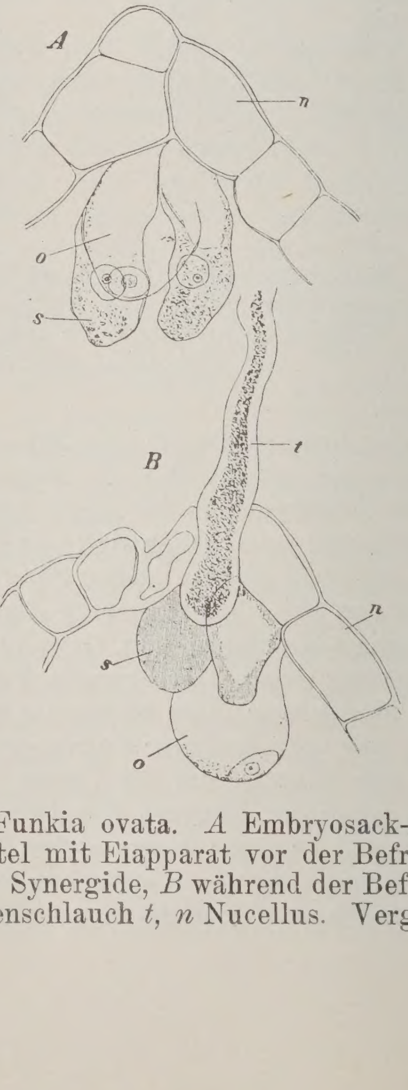


Fig. 467. Funkia ovata. *A* Embryosack- und Nucellusscheitel mit Eiapparat vor der Befruchtung. *o* Eizelle, *s* Synergide, *B* während der Befruchtung mit Pollenschlauch *t*, *n* Nucellus. Vergr. 390.

So gelangt der Pollenschlauch mit den beiden generativen Zellen an den Embryosack. Er entläßt seinen Inhalt, welcher durch eine der Synergiden zur Eizelle vordringt. Die betreffende Synergide stirbt ab. Einer der beiden generativen Kerne verschmilzt mit dem Eikerne; die befruchtete Eizelle umgibt sich mit einer Cellulosehülle. Der zweite generative Kern ist am Ei vorbeigewandert und vereinigt sich mit dem großen „sekundären Embryosackkern“ (Fig. 467—469). Beide männlichen Kerne haben oft pfropfenzieherartig gewundene Form, so daß NAWASCHIN, der das Eindringen und Verbleiben des zweiten generativen Kernes zuerst beobachtet hatte, sie direkt mit den Spermatozoiden der Sporenpflanzen vergleicht. Die Weiterentwicklung pflegt sodann mit der Teilung des Embryosackkerns einzusetzen, der zunächst eine große Zahl im plasmatischen Wandbelag verteilter Kerne liefert. Durch Wandbildung zwischen den einzelnen von je einem Kern beherrschten Plasmaportiönchen und weitere Vermehrung dieser Zellen zu einem massiven Gewebekörper entsteht das Endosperm. Das unterscheidende Charakteristikum im

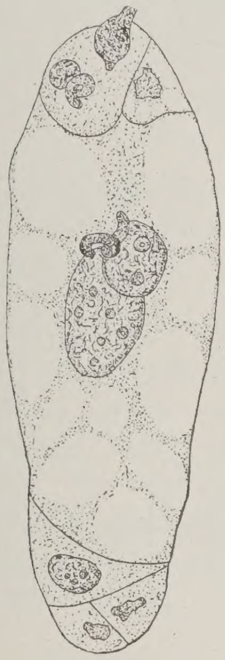


Fig. 468. Befruchtung von Lilium Martagon. Einer der männlichen Kerne ist neben dem Eikern, der andere neben den noch freien Polkernen sichtbar. (Nach GUIGNARD.)

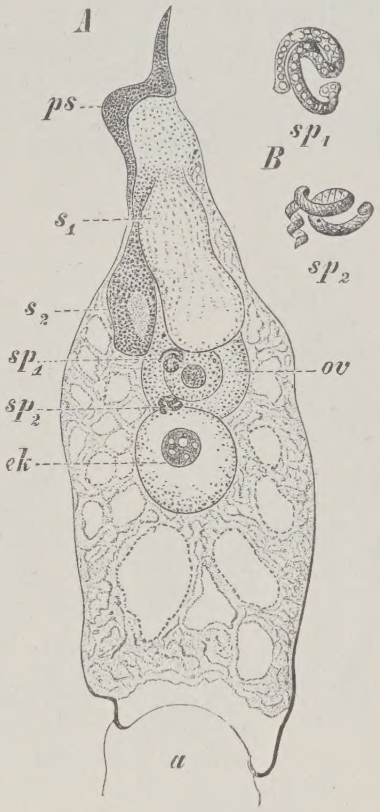


Fig. 469. *A* Embryosack von Helianthus annuus nach NAWASCHIN. *B* die männlichen Kerne daraus stärker vergrößert, *ps* Pollenschlauch, s_1 s_2 Synergiden, sp_1 sp_2 männliche Kerne, *ov* Eizelle, *ek* Embryosackkern, *a* Antipoden.

Entwicklungsgange des angiospermen Endosperms gegenüber dem gymnospermen Prothallium liegt demnach in der Unterbrechung seiner Bildung, in der „fraktionierten Endospermbildung“. Zunächst wird in dem der Befruchtung harrenden Embryosack nur eine Andeutung des Prothalliums, die vegetativen Antipoden, gegeben. Die eigentliche Endospermbildung dagegen ist von der Weiterentwicklung des betreffenden Embryosackes abhängig gemacht und damit jeder Materialvergeudung vorgebeugt. Das Ausgangsmaterial dazu bildet der Embryosackkern, welcher einer Anregung durch Vereinigung mit dem zweiten generativen Kern des Pollenschlauches, der sogenannten „vegetativen Befruchtung“, bedarf, um wieder aktiv zu werden.

Aus der befruchteten, mit einer richtigen Cellulosehaut bekleideten Keimzelle geht eine Zellreihe, der Vorkeim, hervor, welcher aus seiner Gipfelzelle die Hauptmasse des Embryos entwickelt. Der Rest des Vorkeimes bildet den Embryoträger oder Suspensor. An der Grenze von Embryo und Suspensor liegt eine als Hypophyse bezeichnete Zelle, die an dem Aufbau des unteren Embryoendes in geringem Maße beteiligt zu sein pflegt. Je nach der Zugehörigkeit der betreffenden Pflanze zu der Unterklasse der *Monokotyledonen* oder *Dikotyledonen* ist die Gliederung des Embryokörpers

verschieden. Diese lassen zwei gleiche Keimblätter am Scheitel des heranwachsenden Embryo hervorsprossen, die Kotyledonen (Fig. 470), und führen am Grunde des Spaltes zwischen beiden den Sproßvegetationspunkt; die Monokotyledonen dagegen besitzen nur einen scheitelständigen großen Kotyledon und einen seitlich gelegenen Vegetationspunkt (Fig. 471). Dagegen geht die Wurzel in beiden Fällen aus dem der Mikropyle zugekehrten Teil des Embryokörpers hervor; ihre Abgrenzung wird an älteren Embryonen deutlich und läßt erkennen, daß einige wenige der Hypophyse entstammende Zellen ihr noch mitzufallen. — Die neuerdings bei mehreren Angiospermen genauer bekannt gewordenen Fälle der Parthenogenese sind in ihrer physiologischen Bedeutung bereits gewürdigt (S. 248). Ebenso mag nur kurz auf die verschiedenen, z. T. sehr auffallenden Bildungen hingewiesen sein, welche dazu dienen, dem Embryo und Endosperm eine ausgiebige Ernährung zu gewährleisten. Während im einfachsten Fall, wie bereits im einleitenden Abschnitt erwähnt, das Endosperm sich mächtig vergrößert und den ganzen Nucellus nach und nach verdrängt, sind häufig zunächst die Antipodenzellen, als der Chalaza nächst gelegene Teile, mit der Funktion der Embryosackernährung betraut. Sie erfahren dann starke Vermehrung und bisweilen eine mächtige Entwicklung. Aber auch andere

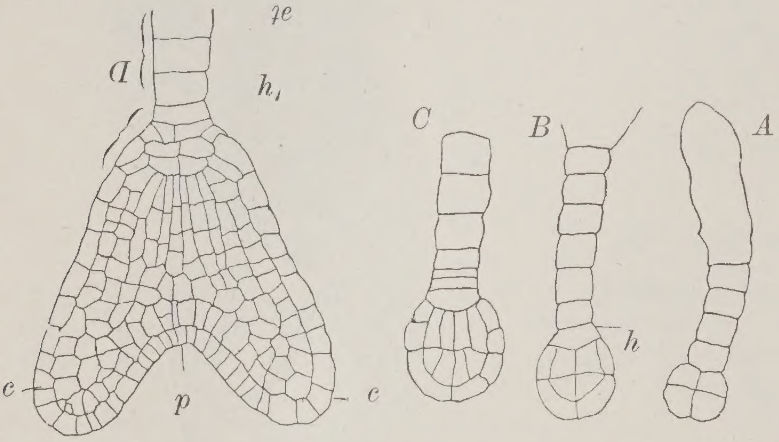


Fig. 470. Entwicklung des Keims von Capsella bursa pastoris. *h*, *h'* Hypophyse, *et* Keimträger, *c* Kotyledonen, *p* Plumula. Vergr. (Nach HANSTEIN.)

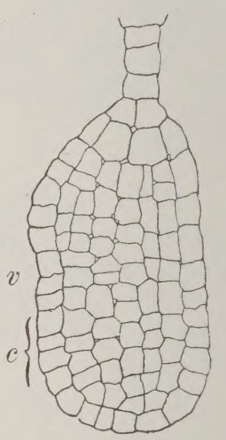


Fig. 471. Junger Keim von Alisma Plantago. *c* Kotyledon, *v* Vegetationspunkt. Vergr. (Nach HANSTEIN.)

Teile des Embryosackes selbst können zu langen Saugorganen, Haustorien, auswachsen, die bald aus der Mikropyle hervordringen, bald in der Chalazaregion das umliegende Gewebe weit durchziehen und das in einzelnen Fällen (Utriculariaarten) an diesen Orten bereits lange vorher angehäufte reiche Reservestoffmaterial der Makrospore zuführen.

Die Frucht (12). Während über den Samen und seine Ausbildung nichts für die Angiospermen allein Gültiges hinzugefügt zu werden braucht, ist eine große Mannigfaltigkeit in der Entwicklung der Angiospermenfrüchte zu beobachten, die hier einer eingehenderen Erwähnung bedürfen.

Schon die verschiedenartige Ausbildung des Gynöceums, wie sie vorhin geschildert wurde, läßt ja eine reichhaltige Abwechslung erwarten. Die zu vielen beisammenstehenden, aus apokarpen Gynöceen hervorgegangenen Einzelgebilde, z. B. der Rosaceen, sollen hier als Früchtchen, das ganze Gynöceum als Frucht, eventuell als Sammelfrucht bezeichnet werden, wobei wir auch die ausgehöhlte oder aufgewölbte Blütenachse als Blütenboden mit zur Frucht rechnen. Bei den aus synkarpen Gynöceen entstandenen Früchten kommt weiter die Ausbildung der Fruchtwand, des Perikarps, besonders in Betracht. Ihre äußere, mittlere und innerste Schicht werden als Exo-, Meso- und Endokarp unterschieden. Nach der Beschaffenheit dieses Perikarpes ist folgende Einteilung der Fruchtformen aufgestellt:

1. Eine Frucht mit trockenem, bei der Reife sich öffnendem Perikarp heißt Kapsel (capsula) (Fig. 472). Geschieht die Öffnung durch Trennung der Carpelle in den Nähten, so ist die Kapsel septicid, tritt ein Längsspalt im einzelnen Fache ein, so heißt sie loculicid, und werden einzelne bestimmt umschriebene Löcher dabei gebildet, so haben wir die poricide Kapsel. Als besonders häufige Spezialfälle sind zu erwähnen: Die Balgfrucht (folliculus), eine aus nur einem Fruchtblatt bestehende, längs der Bauchnaht aufspringende Kapsel, z. B. *Aconitum Napellus* (Fig. 557). Die Hülse (legumen) unterscheidet sich von der Balgfrucht nur dadurch

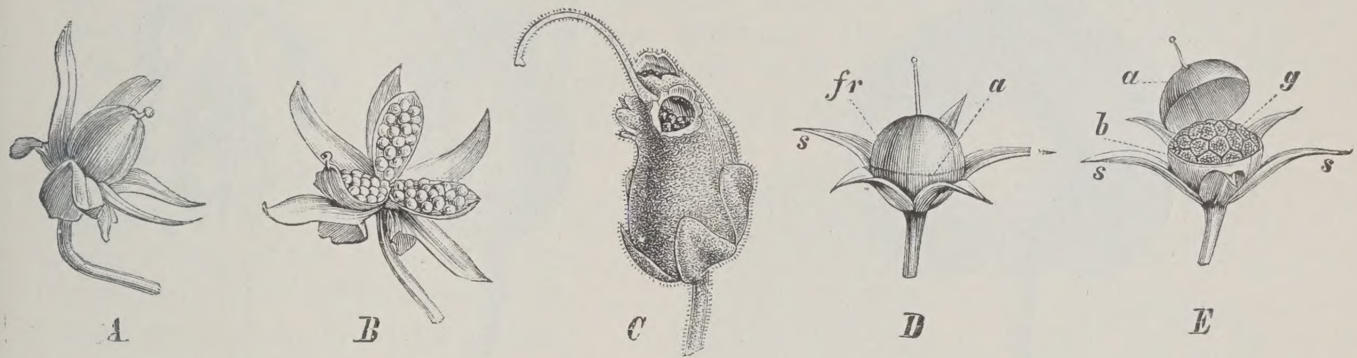


Fig. 472. Aufspringen der Kapselfrüchte. *A* Kapsel von Viola tricolor, vor dem Aufspringen. *B* Dieselbe nach dem Aufspringen. *C* Poricide Kapsel von Antirrhinum majus. Vergr. *D* Pyxidium von Anagallis arvensis geschlossen. *E* Dasselbe geöffnet.

daß sie an Bauch- und Rückennaht aufspringt z. B. *Cytisus Laburnum* (Fig. 604). Die Schote (siliqua) besteht aus zwei Fruchtblättern, welche sich bei der Reife von der eine Wucherung ihrer Nähte darstellenden falschen Scheidewand lösen. Hierher gehören die Cruciferen, z. B. *Cheiranthus Cheiri* (Fig. 574). Die Deckelkapsel (pyxidium) wird durch Abspringen eines Deckelchens geöffnet, wie bei *Anagallis* (Fig. 472).

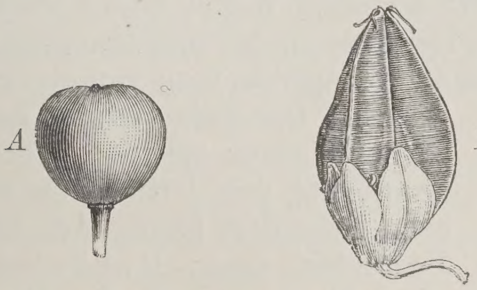


Fig. 473. Schließfrüchte. *A* Nuß von Fumaria officinalis. Vergr. 6. *B* Achäne von Fagopyrum esculentum. Vergr. 2. (Nach Duchartre.)

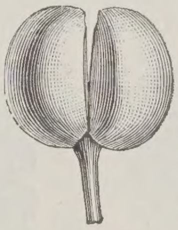


Fig. 474. Spaltfrucht von Galium Mollugo. Vergr. 6. (Nach Duchartre.)

2. Unter einer Schließfrucht versteht man eine Frucht mit trockenem, geschlossen bleibendem Perikarp. Ist die Frucht hartschalig, so heißt sie Nuß (nux). Ist sie einsamig, nennt man sie Caryopse (caryopsis), falls ihre Samenschale dem lederigen Perikarp angewachsen ist, wie bei den Gräsern, dagegen Achäne (achaenium), wenn dies nicht der Fall ist, wie bei den Compositen (Fig. 473).

3. Zerfällt eine trockene, aus mehreren Fruchtblättern bestehende Frucht bei der Reife in ihre Teilfrüchte, ohne daß diese sich öffnen, so wird sie Spaltfrucht (schizocarpium) genannt. Hierher gehören die Umbelliferen, *Malva, Galium* (Fig. 474).

4. Wird das Perikarp völlig und in allen Schichten fleischig, so ist die Frucht eine Beere (*bacca*), wie bei *Vaccinium*, *Vitis*. Verlieren Beeren bei völliger Reife ihr saftiges Fleisch, so spricht man wohl von einer trockenen Beere (Capsicum). In seltenen Fällen springen Beerenfrüchte auf wie bei *Myristica* und einigen Cucurbitaceen.

5. Ist unter einem fleischigen Exokarp ein hartes Endokarp vorhanden, so haben wir eine Steinfrucht (drupa). *Prunus Cerasus* Fig. 589) und *Juglans regia* (Fig. 524) sind bekannte Beispiele.

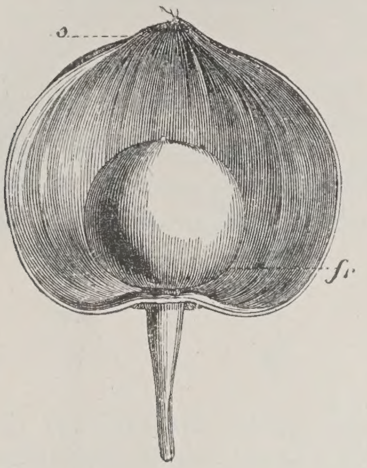


Fig. 475. Frucht von Physalis Alkekengi. Sie besteht aus dem herangewachsenen Kelch *s* und der aus dem Fruchtknoten hervorgegangenen Beere *fr*. (Nach DUCHARTRE.)

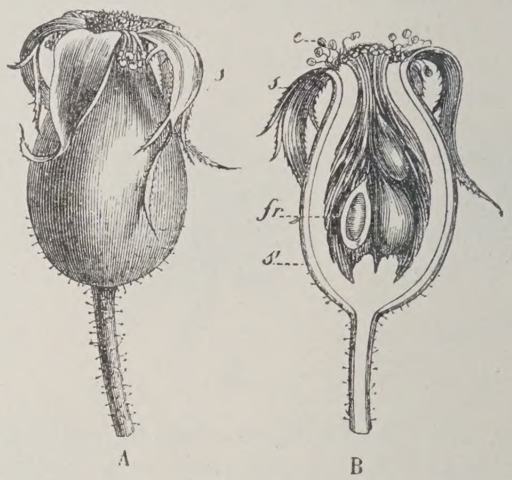


Fig. 476. Frucht von Rosa alba. Auf dem fleischigen Blütenboden *s'* sitzen die erhaltenen Kelchblätter *s* und die Carpelle *fr*. Die Staubblätter *e* sind vertrocknet. (Nach DUCHARTRE.)

Früchte die nicht lediglich aus dem Fruchtknoten hervorgegangen sind, finden sich z. B. bei *Rosa* (Fig. 476), wo der fleischige Blütenboden die Früchtchen birgt und der Kelch noch darauf sitzt, oder bei *Physalis* (Fig. 475), welche ihre Beere durch den mächtig heranwachsenden Kelch völlig verdeckt.

Nimmt dagegen ein ganzer, aus einer Inflorescenz hervorgegangener Fruchtstand das Aussehen einer Einzelfrucht an, so spricht man von einer Scheinfrucht. Die Feige ist das bekannteste Beispiel einer solchen, wie sie überhaupt bei den Urticaceen und Moraceen besonders häufig sich finden. Der Vergleich einer Rubusfrucht und einer Morusscheinfrucht wird die oft sehr große äußere Ähnlichkeit beider Gebilde ohne weiteres erkennen lassen (Fig. 477).

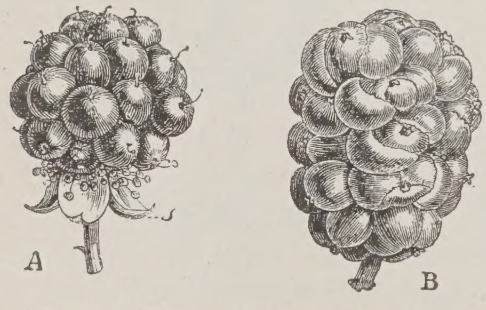


Fig. 477. *A* Merocarpische Steinfrucht von Rubus fruticosus (Brombeere). *B* Aus kleinen Steinfrüchten bestehender Fruchtstand von Morus nigra (Maulbeere). (Nach DUCHARTRE.)

Mit dieser Aufzählung der wichtigsten und häufigsten Fruchtformen ist die Mannigfaltigkeit ihrer Bildungen keineswegs erschöpft. Es muß noch hervorgehoben werden, daß ein Verständnis der einzelnen Formen nur von ökologischem Gesichtspunkte aus erzielt werden kann, wenn man die in Form und Ausrüstung der Früchte gegebenen Aussichten für die Samenverbreitung berücksichtigt. Wie für die Pollenübertragung sind auch für die Ausbreitung von Frucht und Samen die verschiedensten Bewegungsmittel in Anspruch genommen, vor allem Wind, Wasser und Tiere. Einzelheiten darüber sind im physiologischen Teile des Buches (S. 257) zu vergleichen.

1. Unterklasse.

Monocotylae [13].

Die mit einem Keimblatt versehenen Angiospermen oder Monokotylen sind ihrem Gesamtaufbau nach meist verhältnismäßig einfache Kräuter oder Stauden, seltener Sträucher oder Bäume.

Ihr kleiner Embryo streckt bei der Keimung Würzelchen und Hypokotyl aus der Samenschale, während der scheidenförmige Kotyledon meist mit seinem oberen Ende darin stecken bleibt und die Aufsaugung des reichlich vorhandenen Nährgewebes besorgt. Die Hauptwurzel stellt ihr Wachstum früher oder später ein und wird durch zahlreiche Adventivwurzeln, die aus dem Stamme entspringen, ersetzt. Bei den Gräsern sind solche bereits am Embryo angelegt. So fehlt den Monokotylen durchweg ein einheitliches auf eine Hauptwurzel und ihre Verzweigung zurückführbares Wurzelsystem, wie die Gymnospermen und Dikotylen es besitzen.

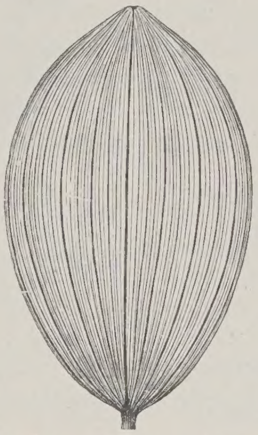


Fig. 478. Blatt mit streifiger Nervatur (Polygonatum multiflorum). Nat. Gr.

Fig. 479. Diagramm einer typischen Monokotylenblüte.

Der Stammvegetationspunkt bleibt mehr oder minder lange von dem Scheidenteil des Kotyledon umschlossen. Er bringt auch weiterhin langscheidige am Grunde längere Zeit fortwachsende Blätter in zweizeiliger oder wechselständiger Stellung hervor. Das Stammwachstum ist häufig beschränkt, Verzweigung fehlt in vielen Fällen ganz oder führt doch nur selten zur Bildung einer reichverzweigten Krone. Die Blätter pflegen ungestielt und parallelnervig, von schmaler langgestreckter, linearer oder elliptischer Form zu sein (Fig. 478).

In anatomischer Hinsicht sind die Monokotylen durch geschlossene, über den ganzen Stammquerschnitt gleichmäßig verteilte Gefäßbündel (vgl. Fig. 126, S. 97) ausgezeichnet, welche kein Cambium zu entwickeln vermögen. Infolgedessen fehlt den Monokotylen das Dickenwachstum gänzlich oder tritt in den seltenen Fällen, wo es sich findet, in der Weise auf, daß am Rande des Holzkörpers vollkommen neue, geschlossene Bündel und zwischen ihnen Grundgewebe gebildet werden (vgl. S. 118).

Monokotylenblüten sind in der Regel pentacyclisch gebaut, besitzen also zwei Perianthkreise, zwei Andröceum- und einen Gynöceumwirtel. Die typische Zahl der Glieder eines jeden Wirtels ist drei. Beide Perianthkreise sind meist gleichartig ausgebildet, also als Perigon zu bezeichnen (Fig. 479). Demnach entspricht P 3 + 3 A 3 + 3 G (3) der Monokotylenblüte. Nur in der ersten Ordnung der Monokotylen, bei den *Helobiae* ist Vermehrung bald der Wirtel, bald der Gliederzahl in den Wirteln vorhanden.

Man erblickt in diesem Verhalten und in dem apokarpen Gynöceum der Helobiae eine Annäherung an die *Polycarpicae* unter den Dikotylen und versucht die Monokotylen mit Hilfe dieser Ordnung von den polykarpischen Dikotylen abzuleiten. Da ein anderweitiger Anschluß der Monokotylen bisher nicht nachzuweisen war, die *Polycarpicae* andererseits überhaupt einen Ausgangspunkt zahlreicher, in ihren Endgliedern weit auseinanderstehender Zweige des Pflanzenreiches bilden, ist diese Ableitungsmöglichkeit der Berücksichtigung wert.

In allen übrigen Fällen kann die große Mannigfaltigkeit monokotyler Blüten auf Schwinden einzelner Glieder oder ganzer Wirtel, wie auf Änderungen der Fruchtknotenstellung oder der Blütensymmetrie zurückgeführt werden.

1. Ordnung. Helobiae.

Wasser- oder Sumpfpflanzen mit radiären Blüten. Gynöceum in zwei Kreisen, häufig apokarp. Samen ohne Nährgewebe mit großem Embryo. Schließfrüchte resp. -Früchtchen.

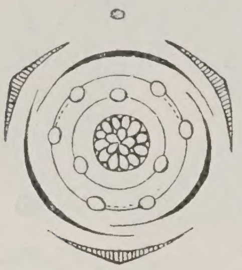


Fig. 480. Blütendiagramm von Echinodorus parvulus, einer Alismacee. (Nach Eichler.)

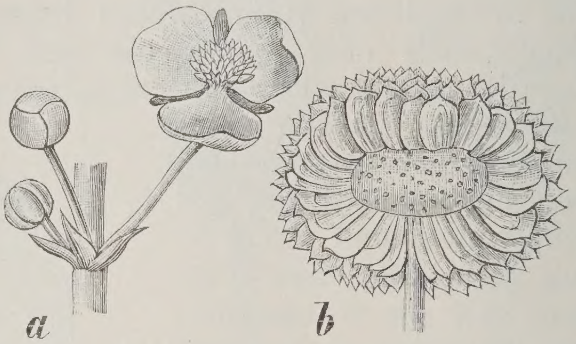


Fig. 481. Sagittaria sagittifolia. *a* Blüten, *b* Frucht, nach Entfernung eines Teiles der Carpelle. Vergr. (*b* Nach Engler und Prantl.)

1. Familie ***Alismaceae.*** *Alisma Plantago*, *Sagittaria sagittifolia* und *Butomus umbellatus* sind häufige deutsche Sumpfpflanzen mit langgestielten rispigen oder dolden-

Fig. 482. Potamogeton natans. Blühender Sproß. $^1/_2$ nat. Gr.

artigen Blütenständen. Einzelblüten durch Besitz von Kelch und weißer, bei *Butomus* rötlicher, Krone ausgezeichnet. Andröceum bei *Butomus* A 6 + 3, bei *Alisma* A 6, Gynöceum apokarp, bei *Butomus* G 3 + 3, bei *Alisma* G ∞. *Sagittaria* monöcisch mit eingeschlechtigen Blüten durch Fehlschlagen des einen Geschlechtes. Männliche mit zahlreichen Staubblättern und unfruchtbaren Fruchtblättern, weibliche mit Staminodien und zahlreichen freien Fruchtblättern auf stark gewölbter Blütenachse (Fig. 480, 481). Blätter bei *Butomus* lang lineal, gerinnt dreikantig; bei *Alisma* und *Sagittaria* langgestielt mit löffelförmiger resp. pfeilförmiger Spreite. Individuen beider Gattungen, die tief in flutendem Wasser stehen, zeigen lang bandförmige Blätter, wie sie bei der Keimung als Übergangsform auftreten; solche Pflanzen kommen nicht zur Blüte.

2. Familie ***Juncaginaceae.*** Grasähnliche Gewächse, *Triglochin.*

3. Familie ***Potamogetonaceae*** (Fig. 482). *Potamogeton* ist in vielen verschiedenen Arten in stehenden wie fließenden Gewässern auf der ganzen Erde verbreitet. Blüten zwittrig, vierzählig, Gynöceum apokarp. Blütenstand eine Ähre. Blätter meist untergetaucht mit langen, einseitig geschlitzten Axillarstipeln. *P. natans* unserer Tümpel führt zur Blütezeit meist nur Schwimmblätter, da die untergetauchten stielrunden Wasserblätter bereits vergangen sind. *Ruppia maritima*, *Zanichellia palustris* nicht seltene Brakwasserformen der Küste. *Zostera marina*, das an allen nördlich temperierten Meeresküsten häufige Seegras, vielfach als Polstermaterial verwendet (vgl. S. 251).

4. Familie ***Najadaceae.*** Die einzige Gattung *Najas* enthält mehrere Süßwasserpflanzen mit diklinen Blüten.

5. Familie ***Hydrocharitaceae.*** *Hydrocharis morsus ranae* und *Stratiotes aloides*, schwimmende einheimische Wasserpflanzen, die sich besonders durch Ausläufer vermehren und ganz oder in Form von Winterknospen (vgl. S. 246) am Grunde der Gewässer überwintern, im Frühjahr wieder emporsteigen. Blüten diöcisch. Perianth in Kelch und Krone gegliedert. In den männlichen Blüten mehrere dreizählige Wirtel von Staubblättern, die weiblichen mit Staminodien und zwei dreizähligen Kreisen von Fruchtblättern. Fruchtknoten unterständig. Insektenblütig. *Vallisneria spiralis* (vgl. S. 251). *Elodea canadensis*, Wasserpest.

2. Ordnung. Glumiflorae.

Die Ordnung der Spelzenblüter umfaßt ausschließlich Gewächse von grasartigem Habitus von ein- bis mehrjähriger Dauer. Holziger Schaft eignet nur der Gattung Bambusa. Das allen gemeinsame Merkmal liegt in der Vereinigung zahlreicher Einzelblüten, die eines richtigen Perianthes entbehren, dagegen von trockenhäutigen Hochblättern, den Spelzen, gestützt werden, zu mehr oder minder reich zusammengesetzten Blütenständen. Ebenso wie das Perianth, das entweder vollständig ausfällt, oder zu der Form von Borsten oder Schüppchen verkümmert, fehlt häufig der innere Andröceumwirtel. Der oberständige Fruchtknoten ist stets einfächerig und enthält nur eine Samenanlage; er entspricht bald drei, bald zwei, bald nur einem Fruchtblatt. Größe und reich papillöse oder federige Form der Narben hängen mit der Windbestäubung zusammen. Schließfrüchte.

1. Familie ***Cyperaceae.*** Die Riedgräser oder sauren Gräser sind durch ihren meist dreikantigen, in der Regel weder knotig gegliederten noch hohlen Halm und die geschlossenen Scheiden ihrer Blätter kenntlich Blüten eingeschlechtig, dann meist monöcisch, oder zwitterig; Fruchtknoten zwei- oder dreicarpellig mit grundständiger, aufrechter, anatroper Samenanlage. Fruchtschale nicht mit der Samenschale verwachsen, Embryo klein, rings von Endosperm umschlossen.

Die Gattungen *Cyperus*, *Scirpus* (*Simse*) und *Eriophorum* haben zwitterige Blüten. Fig. 483 zeigt eine blühende Pflanze des einjährigen *Scirpus setaceus.* Blätter steif, oberseits gerinnt. Fertile Halme mit langem obersten Internodium. Ährchen *1—3*, endständig, durch das in Richtung des Halmes aufstrebende Hüllblättchen zur Seite gedrückt und mit zahlreichen dachziegeligen Spelzen bedeckt. Nur die untersten größeren

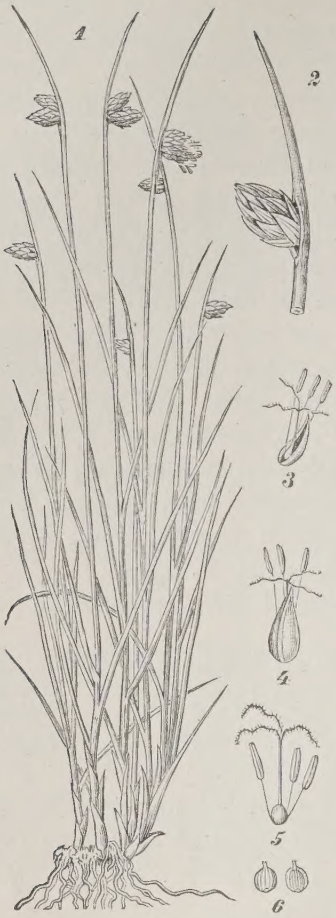


Fig. 483. Scirpus setaceus. Nat. Gr. *1* blühende Pflanze, *2* Gipfel eines fertilen Halmes, vergr., *3* Einzelblüte, vergr., *4* dieselbe vom Rücken, vergr., *5* dieselbe ohne Deckspelze, *6* Früchte, vergr. (Nach HOFFMANN.)

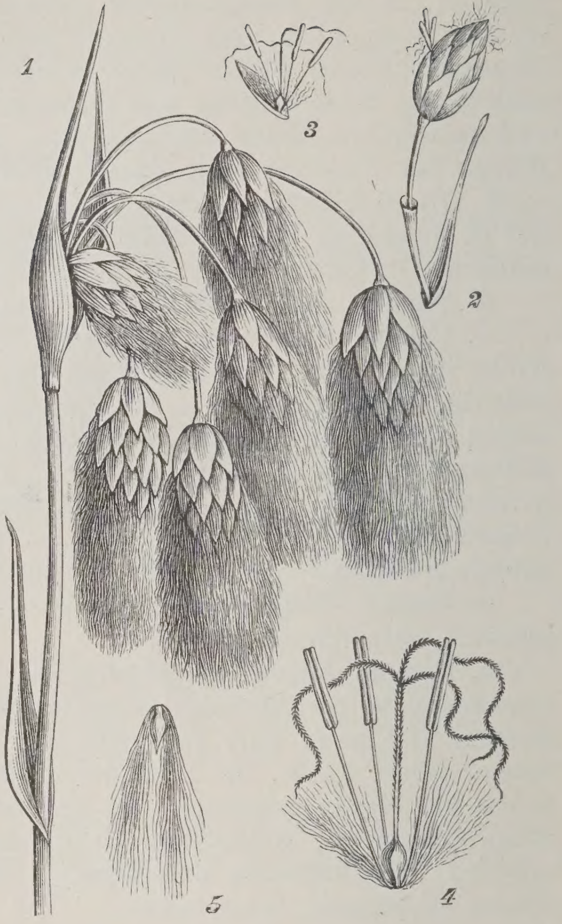


Fig. 484. Eriophorum angustifolium. Etwa nat. Gr. *1* Fruchtender Halm, *2* ein blühendes Ährchen, *3* Einzelblüte, vergr., *4* dieselbe ohne Spelze, vergr., *5* Früchtchen, vergr. (Nach HOFFMANN.)

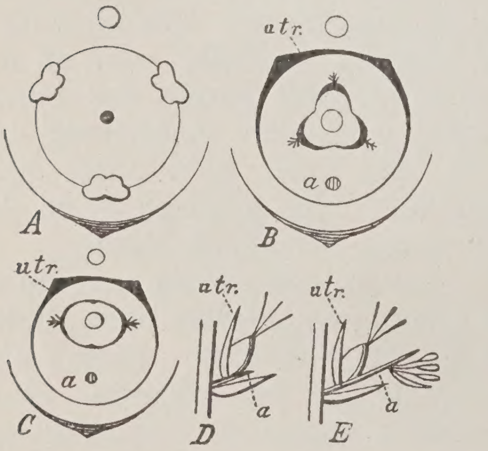


Fig. 485. *A* Diagramm einer ♂ Carexblüte, *B* einer dreinarbigen, *C* einer zweinarbigen ♀ Carexblüte, *D* Aufriß einer ♀ Carexblüte, *E* des zwitterigen Ährchens von Elyna. *a* Sekundansproß, *utr* Utriculus oder Vorblatt des Sekundansprosses. (Nach EICHLER.)

Fig. 486. Gramineae. Diagramm (Avena). Die fehlenden Glieder sind durch × angedeutet.

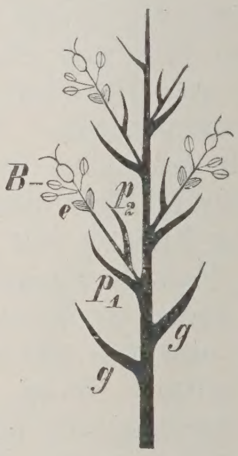


Fig. 487. Schema des Grasährchens. *g* die Hüllspelzen, p_1 und p_2 palea inferior und superior, *e* die Lodiculae, *B* die Blüte. Sämtliche Achsenteile verlängert.

steril, alle andern mit je einer nackten (bei andern Arten sind Perianthborsten vorhanden) Zwitterblüte. *Eriophorum angustifolium.* Das zur Blütezeit wenig auffallende Wollgras bringt am Gipfel des fertilen Halmes 3—7 langgestielte aufrechte Ährchen mit zahlreichen dachziegelig deckenden Spelzen. Einzelblüten am Grunde von zahlreichen Haaren umgeben, die von Staubblättern und Griffel überragt werden. Zur Fruchtzeit dagegen sind die Haare bis ca. 3 cm lang geworden und ragen weit über die Spelzen hervor. Sie bilden ein für die Verbreitung der Früchtchen wichtiges Flugorgan. Durch ihre weiße Farbe machen sie die Pflanze und ihre jetzt herabhängenden Ähren zu einem auffälligen Bestandteil unserer torfigen Wiesen (Fig. 484). *Cyperus Papyrus* in Ägypten, Sicilien.

Die Gattung Carex hat nackte eingeschlechtige Blüten, welche in der Regel monöcisch verteilt sind. Männliche Ährchen einfach; in der Achsel jedes Deckblättchens sitzt eine männliche Blüte aus drei Staubblättern gebildet. Die weiblichen Ährchen tragen in der Deckblattachsel je ein Sekundansprößchen aus dem schlauchförmigen Vorblatt (Utriculus) und dem in seiner Achsel sitzenden, bald zwei-, bald dreicarpelligen Fruchtknoten bestehend (Fig. 485).

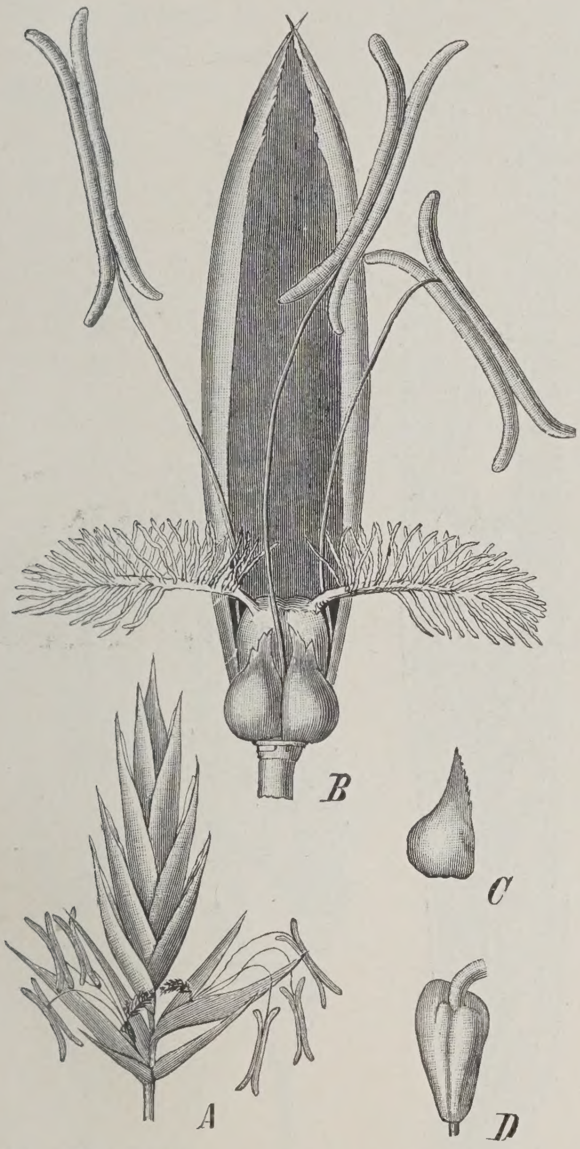


Fig. 488. Festuca pratensis. *A* Ährchen (vgl. Fig. 487) mit zwei offenen Blüten, unten die beiden sterilen Hüllspelzen. Vergr. 3. *B* Blüte; vorn die beiden Lodiculae, hinten die Vorspelze (palea superior), Fruchtknoten mit federartigen Narben. Vergr. 12. *C* eine Lodicula. Vergr. 12. *D* Fruchtknoten, von der Seite, mit dem Stiel einer abgeschnittenen Narbe. Vergr. 12.

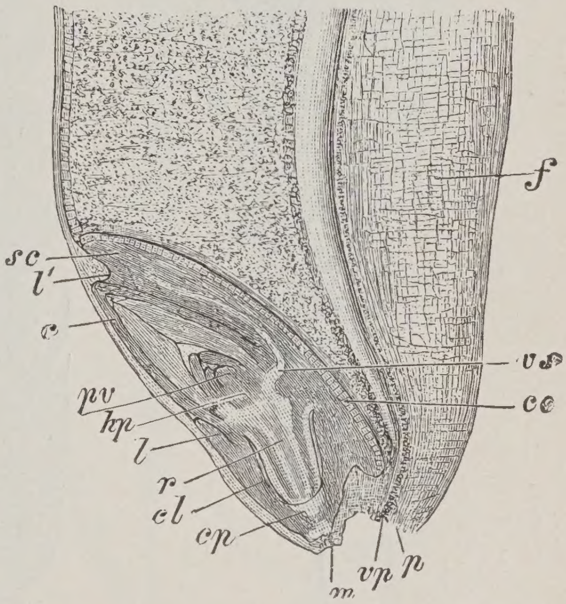


Fig. 489. Medianer Längschnitt durch den unteren Teil eines Weizenkorns. Links unten der Keim mit dem Scutellum *sc*, *l'* Ligula, *vs* Gefäßbündel des Scutellums, *ce* sein Cylinderepithel, *c* Scheidenteil des Kotyledons, *pv* Stammvegetationskegel, *hp* Hypokotyl, *l* Epiblast, *r* Radicula, *cl* Wurzelscheide, *m* Austrittstelle der Radicula, *p* Fruchtstiel, *vp* sein Gefäßbündel, *f* Seitenwandung der Furche. Vergr. 14.

2. Familie ***Gramineae.*** Die echten Gräser besitzen stielrunde, hohle (Ausnahme: Mais, Zuckerrohr), durch massive Knotenstellen gegliederte Halme, zweizeilige Blattstellung und eine meist offene Scheide, die an der Basis knotig verdickt zu sein pflegt. An der Grenze von Blattscheide und -Spreite grat ein erhabener häutiger Rand über das Blatt hervor: die Ligula (vgl. Fig. 35, S. 28). Gramineenblüten finden sich in ähren-, trauben- oder rispen-

artigen Gesamtblütenständen vereinigt, die jedesmal aus ährenartigen Teilinflorescenzen, den „Ährchen“, zusammengesetzt sind. Meist ist das Ährchen mehrblütig. Es beginnt mit zwei (in einzelnen Fällen einer oder drei) sterilen Hüllspelzen (glumae); in zweizeiliger Anordnung wie diese folgen die fertilen Deckspelzen (palea inferior) mit je einer Blüte in ihren Achseln. Die Deckspelzen sind oft begrannt, d. h. sie tragen eine steife widerhaarige

Fig. 490. Getreidearten. *A* Roggen, Secale cereale. *B* Spelt, Triticum Spelta. *C* zweizeilige Gerste, Hordeum distichum. *D* Weizen, Triticum vulgare. — *D* officinell.

Borste auf dem Rücken oder an ihrer Spitze, die Granne. Jedem Einzelblütchen geht eine Vorspelze (palea superior) als Vorblatt vorauf. Es folgen zwei winzige Schüppchen, die als Schwellkörper zur Öffnung der Blüte beitragen und Lodiculae heißen; endlich das aus einem dreigliedrigen Wirtel bestehende Andröceum und der einem Fruchtblatt entsprechende Fruchtknoten mit zwei federartig verzweigten papillösen Narben.

Er umschließt eine anatrope oder schwach campylotrope Samenanlage. Fig. 486 bis 488 geben Analysen eines Ährchens und einer Einzelblüte.

Nicht immer ist der Bau ein so stark reduzierter, so hat die Reisblüte (Fig. 491) ein vollzähliges Andröceum, ebenso die Bambuseen, welche auch drei Lodiculae besitzen, und bei *Streptochaeta* findet sich eine normale (vgl. Diagramm Fig. 479) Monokotylenblüte mit fünf Wirteln. Man ist daher berechtigt, die Lodiculae als dem inneren Perianthkreis entsprechend zu betrachten. Die Vorspelze mag vielleicht zwei verwachsene Blätter des äußeren Kreises darstellen, doch läßt sich ein Beweis dafür einstweilen nicht erbringen.

Für die Windblütigkeit der Gräser ist Länge der Staubblattfilamente (Fig. 488) und Befestigungsart der Anthere ein wenig unterhalb der Rücken-

Fig. 491. Oryza sativa. Blütenrispe 1/2 nat. Gr. Einzelnes Ährchen, vergr. — Officinell.

Fig. 492. Lolium temulentum. — Giftig.

mitte von Bedeutung, ebenso die große Ausdehnung der Narbenoberfläche. Die Frucht wird durch innige Verwachsung von Frucht- und Samenschale zur Caryopse. Der Embryo liegt dem stärkereichen Endosperm seitlich mit seinem Kotyledon, dem Scutellum, an, welches bei der Keimung als Saugorgan die Aufnahme der gespeicherten Reservestoffe bewirkt (Fig. 489).

Zu den Gräsern zählen als wichtige Nutzpflanzen vor allem die eigentlichen Brotgetreide (Fig. 490). Der Weizen, *Triticum vulgare*, mit seinen zahlreichen Arten und Unterarten wie: *Tr. polonicum*, *Tr. durum*, *Tr. turgidum*, *Tr. Spelta*, Spelt, *Tr. dicoccum*, Emmer, *Tr. monococcum*, Einkorn. Der Roggen, *Secale cereale*; die Gerste,

Hordeum vulgare, *H. hexastichum*, *H. distichum*; der Hafer, *Avena sativa*, und der Mais, *Zea Mays*. Alle diese sind der Kultur in gemäßigtem Klima zugänglich. Ihre Heimat ist, bis auf den amerikanischen Mais, voraussichtlich Westasien oder Südost-Europa; in wildem Zustande bekannt sind nur *Secale montanum* und *Hordeum distichum*. Das wichtigste tropische Getreide ist der Reis, *Oryza sativa* (Fig. 491), bis in die warm temperierten Länder hinein in größtem Maßstabe kultiviert und bei hinreichender Feuchtigkeit von unerreichter Fruchtbarkeit. Speziell in Afrika sind die Andropogonarten *Andropogon Sorghum* und *Andropogon saccharatus* zu Hause, als Kaffernhirse und Mohrhirse oder Durra bekannt; schließlich bleiben die im Mittelmeergebiet, früher mehr als jetzt, und in Asien kultivierten *Panicum miliaceum*, echte Hirse und *P. italicum* zu erwähnen, beide asiatischen Ursprungs. Als Nahrungsmittel nimmt ferner das Zuckerrohr, *Saccharum officinarum*, ein übermannshohes, im tropischen Asien, Vorder- oder Hinterindien beheimatetes, perennierendes Gras eine wichtige Stelle ein. Es wird z. Z. überall in den Tropen kultiviert, um aus dem fleischigen Mark des hier nicht hohlen Stengels durch Auspressen und Eindicken des Saftes Rohrzucker zu gewinnen.

Als wichtige heimische Futtergräser unserer Wiesen mögen genannt sein: *Agrostis pratensis*, *Alopecurus pratensis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Arrhenatherum elatius*, *Avena flavescens* und *pubescens*, *Briza media*, *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus*, *Lolium perenne*, *Phleum pratense*, *Poa pratensis*, außerdem *Agrostis*, *Aira*, *Bromus*, *Calamagrostis*, *Festuca*, *Melica* usw. Arten. Eine außerordentlich mannigfaltige Anwendung finden endlich die baumförmigen tropischen Bambusaarten in ihren stattlicheren Vertretern: Häuser, Wände, Fußböden, Leitern, Brücken, Stricke, Wasserkrüge, Kochgefäße, Wasserleitungsröhren usw. usw. werden aus den Stämmen angefertigt, so daß die Pflanze für die dortigen Verhältnisse geradezu unentbehrlich genannt werden muß.

Giftig: Der einjährige Taumellolch, *Lolium temulentum* (Fig. 492), hat giftige, von Pilzhyphen umsponnene Früchte, ebenso *L. remotum*, gleichfalls einjährig. Als einjährigen Pflanzen fehlen ihnen die sterilen Triebe, und so können sie leicht von dem häufigen *Lolium perenne* und *multiflorum* unterschieden werden.

Officinell: *Saccharum officinarum*: Saccharum (Pharm. germ., austr., helv.). *Hordeum vulgare* in seinen keimenden Samen: Maltum, Malz (Pharm. austr.). *Agropyrum repens*: Rhizoma (Radix). Graminis (Pharm. austr., helv.). *Triticum vulgare*: Amylum Tritici (Pharm. germ., austr., helv.). *Oryza sativa*: Amylum Oryzae (Pharm. helv.).

3. Ordnung. Spadiciflorae.

Der gemeinsame Charakter dieser Ordnung wird bedingt durch den eigenartigen Blütenstand: er ist ährenartig, besitzt aber eine angeschwollene, dicke, oft fleischige Achse, stellt also einen Kolben, Spadix, dar. Einzelblüten meist diklin, monöcisch oder seltener diöcisch.

1. Familie ***Typhaceae.*** Einheimische Sumpfpflanzen mit langen linealen Blättern und langgestielten Blütenkolben, am Gipfel die männlichen, darunter die weiblichen Blüten, beide in großer Zahl. Blütenhülle fehlt. Daran schließt gleich die

2. Familie ***Sparganiaceae.*** Kolben kugelig, Einzelblüten mit Perigon, sonst wie vorige.

3. Familie ***Pandanaceae.*** Eigenartige, auf Stützwurzeln stehende Bäume oder kletternde Sträucher aller den Indischen Ozean umlagernden Tropenländer und pacifischen Inseln. Lange, scharf bewehrte, rinnenförmige Blätter, in dreizeiliger Schraube lückenlos den Stamm umhüllend. Blütenstände getrennten Geschlechts, endständige Kolben in der Achsel scheidiger Deckblätter. Einzelblüten ohne Perianth. *Pandanus* (vergl. Fig. 496 Vordergrund), *Freycinetia*.

4. Familie ***Palmae.*** Die Palmen sind eine ausschließlich tropische und subtropische Familie von meist baumförmigen Angehörigen. Ihr schlanker, fast immer einfacher, nur bei den afrikanischen *Hyphaene*-Arten verzweigter Stamm besitzt meist auf seiner ganzen Länge denselben Durchmesser. Andere Formen weisen jedoch eine deutliche Dickenzunahme gegen die Basis hin auf, die entweder nur auf Vergrößerung der vorhandenen Elemente beruht,

in anderen Fällen aber dem Dickenwachstum der baumförmigen Liliaceen nahestehen dürfte. Die Blätter bilden eine gipfelständige Krone und erreichen oft gewaltige Dimensionen. Es sind entweder Fieder- oder Fächerblätter, meist langgestielt, deren Zerteilung durch Absterben bestimmter Gewebepartien in der gefalteten Knospenlage zu stande kommt. Der Blüten-

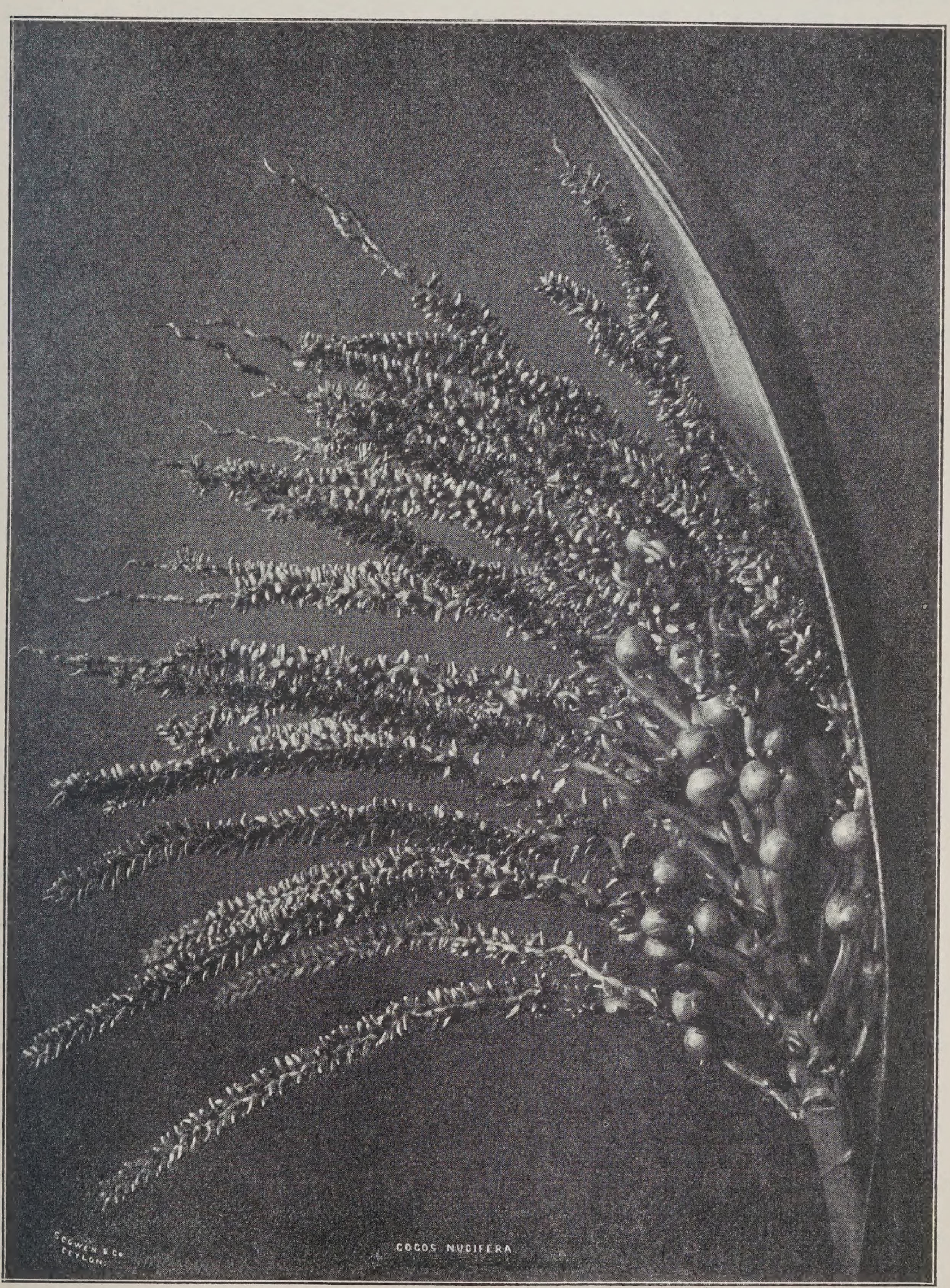


Fig. 493. Cocos nucifera. Blütenstand der Kokospalme. Stark verkleinert.

stand ist in einigen Fällen terminal (Metroxylon); das Individuum stirbt dann mit der Fruchtbildung ab. Häufiger jedoch stehen die Inflorescenzen blattachselständig. Sie sind in der Jugend von einer mächtigen, sehr widerstandsfähigen Scheide, der Spatha, umhüllt, die zur Zeit der Blüte aufplatzt und den einfachen oder meist verzweigten Blütenstand ins Freie treten läßt.

Figur 493 zeigt den Blütenstand von Cocos nucifera mit der Spatha, die ihn am Grunde noch umgibt. Einzelblüten in der Regel eingeschlechtig und nach dem regelmäßigen Monokotylentypus gebaut, also P 3 + 3, A 3 + 3 für die männlichen, P 3 + 3, G (3) für die weiblichen. Bei Kokos sind sie monöcisch verteilt. Man bemerkt in Figur 493 neben zahlreichen, nach den Inflorescenzenden hin in dicht gedrängten Ähren stehenden männlichen Blüten, einzelne am Grunde befindliche, noch ungeöffnete weibliche von erheblich größeren Dimensionen. Der Fruchtknoten besteht hier aus drei miteinander verwachsenen Fruchtblättern, wird jedoch meist einfächerig, da sich nur eines entwickelt. Die

Fig. 494. Kokosnüsse am Stamm.

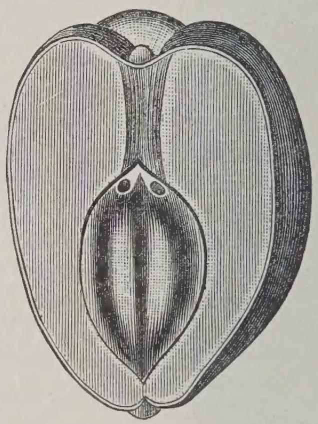


Fig. 495. Kokosnuß, nach teilweiser Entfernung des faserigen Exokarps, verklein. (Nach Warming.)

reifen Früchte (Fig. 494) hängen zu mehreren an einem Fruchtstand. Jede besteht aus dem grobfaserigen Exokarp (Kokosfasern), das ihre Schwimmfähigkeit und damit die weite Verbreitung dieser Strandpalme über alle Tropenküsten wesentlich mit bedingt, und einem steinharten Endokarp, welches die drei Verwachsungsnähte der Carpelle deutlich aufweist. An der Basis findet sich in jedem Carpell ein Keimloch (Fig. 495) im Endokarp vor, doch ist nur dasjenige offen geblieben, dem der Keimling anliegt. Endosperm wird in dicker Lage rings an der Wandung abgelagert. Es ist sehr fettreich und bildet die Copra des Handels. Der Innenraum bleibt zum Teil frei, wird zum andern Teil von einer Flüssigkeit, der sog. Kokosmilch, ausgefüllt, die für die Keimung von Bedeutung sein dürfte. Der keimende Embryo entwickelt ein mächtiges Saugorgan in den Hohlraum hinein, welches dem Keimling die Reservestoffe zuführt. Figur 496 gibt den Habitus eines Kokoswäldchens wieder.

Doch nicht überall sind die Verhältnisse die gleichen. Bei *Areca Catechu* ergibt die aus ähnlichem Fruchtknoten entwickelte Frucht eine Beere, indem das Exokarp grobfaserig fleischige Konsistenz annimmt. Das weiße, durch einwachsende dunkle Zellstreifen der Samenschale ruminierte Endosperm wird hier steinhart, weil Cellulose als Reservestoff abgelagert ist. Ebenso ist die Frucht der Dattelpalme, *Phoenix dactylifera*, eine Beere, die aber aus einem apokarpen Gynöceum hervorgeht; von den drei freien Fruchtblättern wird nur eines völlig ausgebildet. Phönix unterscheidet sich außerdem dadurch von den bisher

betrachteten Beispielen, daß die Blüten diöcisch verteilt sind. Sonstige wichtige Nutzpflanzen unter den Palmen sind: *Elaeïs guineensis*, die (besonders west-) afrikanische Ölpalme, *Calamus*-Arten liefern das Stuhlrohr, *Metroxylon*-Arten Sago, beide im asiatisch-australischen Tropengebiet zu Hause; *Phytelephas macrocarpa*, eine amerikanische

Fig. 496. Kokosinseln bei Hilo, Hawaii, Pandanusbäume im Vordergrunde.

stammlose Palme, gibt vegetabilisches Elfenbein im harten Endosperm ihrer Samen. Verschiedene Arten lassen nach Entfernung der Inflorescenzanlagen eine Menge zuckerhaltigen Saftes ausfließen, welcher bald zu Palmwein vergoren, bald (*Arenga saccharifera*) zur Gewinnung von Rohrzucker eingedickt wird.

Officinell: *Areca Catechu* (trop. Asien) liefert Semen Arecae (Pharm. germ., helv.).

5. Familie ***Araceae.*** Die Araceen sind meist Kräuter oder Stauden; sie spielen im feuchten Walde der Tropen als Wurzelkletterer eine sehr bedeutende Rolle. Blätter einiger Arten, wie *Monstera,* zeigen Zerteilung und Durchlöcherung ihrer mächtigen Spreite durch Absterben genau umschriebener Stellen, wie es für Fiederung oder Fächerung der Palmenwedel bereits erwähnt wurde. Blüten sehr reduziert, meist diklin an einer unverzweigten, fleischig-kolbigen Achse, die an der Basis eine Spatha, oft von lebhafter Färbung und als Schauapparat entwickelt, besitzt, z. B. bei *Anthurium*

Scherzerianum, *Richardia aethiopica*, zwei häufig in unseren Gewächshäusern kultivierten Araceen. Meist Beerenfrüchte.

Deutsche Vertreter: *Acorus Calamus*, Kalmus ist erst im Laufe der letzten 2 bis 3 Jahrhunderte aus dem Osten zu uns gewandert. Die Blüten sind vollständige, zwittrige Monokotylenblüten. Fruchtknoten dreifächerig. Der kurze Kolben ist endständig, wird jedoch durch die in Form der übrigen Laubblätter entwickelte Spatha zur Seite gedrängt (Fig. 497).

Fig. 497. Acorus Calamus, blühende Pflanze, Einzelblüte von oben und im Profil. 1/2 nat. Gr. — Officinell.

Giftig: Viele Araceen sind giftig, so auch die in unseren Torfsümpfen verbreitete *Calla palustris* und *Arum maculatum* (Fig. 498), eine mit knolligem Rhizom ausdauernde Staude unserer Laubwälder. Sie entwickelt eine Anzahl langgestielter, pfeilförmiger Blätter, deren braune Flecken ihr den Beinamen gegeben haben. Blüten monöcisch ohne Perianth, weibliche an der Basis des Kolbens, männliche in geringer Entfernung über ihnen, beide getrennt durch einige steril gewordene Blüten von haarförmiger Gestalt, die gerade der verengten Stelle der oben weit geöffneten grünlichen Spatha entsprechen. Sie sind wie Reusenhaare abwärts gebogen und gestatten kleinen, durch den eigenartigen Geruch

oder die angenehme Wärme (vgl. S. 197) angelockten Insekten wohl den Eintritt in den unteren erweiterten Kessel, hindern aber den Wiederaustritt, bis die weiblichen Blüten durch von anderen Individuen mitgebrachten Pollen bestäubt sind. Dann vertrocknen die Haare, die Antheren öffnen sich und die gefangen gehaltenen Bestäuber können, mit neuem Pollen bedeckt, andere Blüten aufsuchen.

Fig. 498. Arum maculatum, 1/2 nat. Gr. Blütenstand und Fruchtstand, 2/3 nat. Gr. — Giftig.

Officinell: *Acorus Calamus*: Rhizoma Calami (Pharm. germ., austr., helv.) und Oleum Calami (Pharm. germ.).

6. Familie **Lemnaceae**. Die Wasserlinsen unserer Teiche und Flüsse besitzen nackte, in Taschen des Vegetationskörpers entwickelte, monöcische Blüten, die von einer kleinen Spatha umhüllt werden, *Lemna, Wolffia.*

4. Ordnung. Enantioblastae.

Eine kleine Ordnung, deren Samenanlagen atrop sind. Daher liegt der Keimling dem Nabel gerade gegenüber an der Spitze des Endosperms.

Familie ***Commelinaceae.*** Perianth in Kelch und Krone differenziert. Haare der Staubblätter ein für Plasmaströmung und Kernteilungsfiguren bekanntes Objekt. Kapselfrucht, *Commelina*, *Tradescantia*.

5. Ordnung. Liliiflorae.

Strahlige fünfwirtelige Monokotylenblüten mit oberständigem oder unterständigem Fruchtknoten sind das Charakteristikum der Ordnung. Perianth in beiden Kreisen gleichartig als Perigon ausgebildet. Im Andröceum wird nur bei den Iridaceen ein Wirtel unterdrückt. Das Gynöceum variiert in der Stellung, doch ist stets ein aus drei Carpellen zusammengesetzter, meist dreifächeriger Fruchtknoten vorhanden (Fig. 499).

Im Habitus sind die Angehörigen der Ordnung sehr verschieden. Neben krautigen Knollen- und Zwiebelgewächsen oder anderen mit unterirdischem Rhizom perennierenden Stauden finden sich kletternde Sträucher, succulente und bewehrte Rosettenpflanzen von gewaltigen Dimensionen, kleine und größere Bäume, die allerdings auf Tropen und Subtropen beschränkt bleiben.

Fig. 499. Diagramm einer typischen Liliiflorenblüte.

Fig. 500. Juncus lamprocarpus. *a* Teil der Infloreszenz, *b* Blüte vergrößert, *c* Gynöceum vergrößert.

1. Familie ***Juncaceae.*** Grasähnliche Gewächse mit vollständiger Liliiflorenblüte. Perigon spelzenähnlich; Windbestäubung. Pollen bleibt in Tetraden vereinigt. Fruchtknoten oberständig, einoder dreifächerig von drei langen papillösen Narben gekrönt. Endosperm mehlig, Kapselfrüchte.

Die Gattung *Juncus*, Binse, ist in zahlreichen Arten bei uns vertreten. Ihre stielrunden mit Luftkammern versehenen Blätter finden sich überall an Wassertümpeln und Flußläufen. Die auf Windbestäubung eingerichteten Blüten (Fig. 500) sitzen knäuelig am Gipfel der Sprosse, oft durch das in Richtung des Sprosses gestellte Stützblatt zur Seite gedrängt. Früchte vielsamig. *Luzula* mit flachen Blättern und dreisamigen Früchtchen stellt einige der ersten Frühjahrsblüher unserer Flora.

2. Familie ***Liliaceae.*** Liliiflorenblüte mit gefärbtem, als Schauapparat dienendem Perigon. Fruchtknoten oberständig. Endosperm hornig oder fleischig. Nach Beschaffenheit ihrer Früchte zerfallen die Liliaceen in 3 Unterfamilien:

a) Kapsel mit drei Griffeln, springt septicid auf, d. h. in den Nähten: *Melanthieae*.

b) Kapsel mit einem Griffel, springt loculicid auf, d. h. fachspaltig: *Lilieae*.

c) Beerenfrucht: *Asparageae*.

Colchicum autumnale, Herbstzeitlose (Fig. 501, 502), ist ein häufiges, ausdauerndes Kraut unserer Wiesen: Untersucht man die Pflanze im Herbste, wenn sie ihre lila Blüten öffnet, so findet sich eine braune feste Hülle (Fig. 502 *h*), die eine Knolle *k* und einen ihr nur

an der Basis angewachsenen, Blüten bringenden Seitentrieb umgibt. Wurzeln (*w'*) gehen von diesem aus, diejenigen der Knolle (*w*) sterben ab. Die Knolle trägt auf dem Gipfel die Narbe oder Reste ihres abgestorbenen oberirdischen Triebes (*st*). Der blühende Seitensproß (*k'*) bringt 3 kurze ringförmige Scheidenblätter, *s' s'' l'*, die ohne Internodien einander folgen. In der Achsel des dritten *l'* befindet sich eine Knospe *k''*, die

Fig. 501. Colchicum autumnale. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell und giftig.

Anlage des nächstjährigen Blütensprosses. Dieses dritte Blatt wird im Frühjahr eine Spreite ausbilden und als erstes Laubblatt *l'* über den Boden treten. Ein dickes Internodium (*k'*) trennt es z. Z. von den beiden weiteren Laubblattanlagen *l''* usw. Bis zu vier, je in der Achsel eines meist verkümmerten Blättchens stehende Blüten *b*, *b'* folgen und werden durch zugrundegehen des Vegetationspunktes gipfelständig. Im Frühjahr ist die Knolle *k* ausgesogen und von dem zwischen 1. und 2. Laubblatt befindlichen Internodium *k'*, das seinerseits noch weiter knollig angeschwollen ist, verdrängt. Die drei Laubblätter erheben sich mit ihrer dunkelgrünen, langen rinnenförmigen Spreite über den Boden und umscheiden die gestreckte Achse sehr fest. Diese trägt die Früchte am Gipfel, welche zahlreiche schwarze kugelige Samen beherbergen und später durch Auseinanderweichen der 3 Fruchtblätter in den Nähten entlassen. Darauf stirbt der oberirdische Trieb ab, die Laubblattscheiden um-

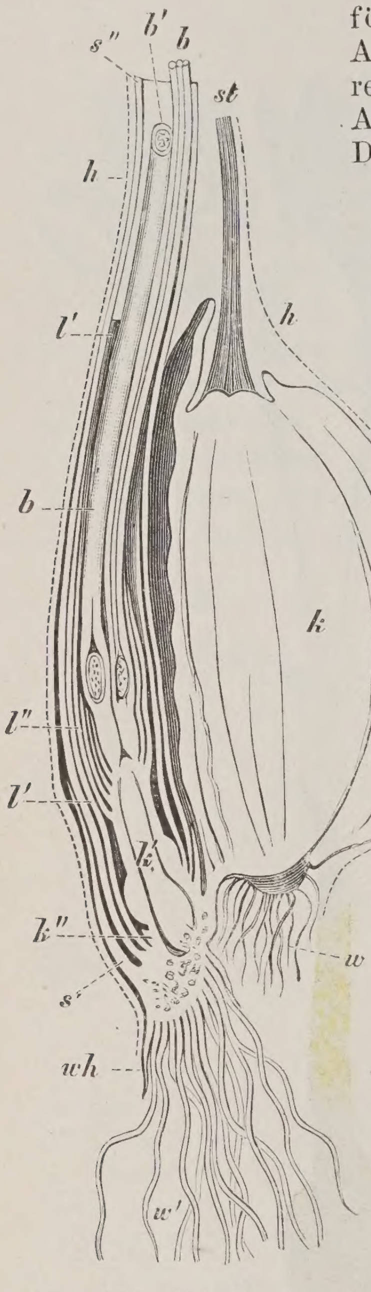


Fig. 502. Colchicum autumnale. Längsschnitt durch die Knolle einer blühenden Pflanze. (Nach Sachs.) Erklärung im Text. — Officinell.

Fig. 503. *a*—*e* Ornithogalum umbellatum. *a* Ganze Pflanze, verkleinert, *b* Blüte in nat. Gr., *c* Blüte im Längsschnitt, *d* Frucht, *e* Querschnitt durch die Frucht, *f*—*g* Colchicum autumnale, *f* Frucht im Querschnitt, *g* Samen mit Embryo *e*, vergr.

hüllen als feste braune Haut die Knolle mit ihrer im Herbste zum Blütensprosse heranwachsenden Knospe (*k''*) aus der Achsel des ersten Laubblattes, deren Anlage bereits im Vorjahre kenntlich war. — *Veratrum album*, Germer, ist eine ansehnliche Staude unserer Bergwiesen; die großen elliptischen Blätter bilden eine buschige Rosette; sie sind längs gefaltet und dadurch auffallend. Ein Blütenstand schließt das Wachstum der Hauptachse ab; er erscheint im Sommer als über meterhohe, unten mit langscheidigen, nach oben an Größe mehr und mehr abnehmenden Blättern bestandene, stattliche pyramidale

Rispe. Die grünlichweißen Blüten zeigen ihren Fruchtknoten in 3 weit voneinander spreizende Griffel auslaufen.

Dagegen sind unsere beliebten Ziergewächse wie *Tulipa* (Fig. 25), *Hyacinthus*, *Lilium*, *Muscari*, *Scilla*, die Küchengewächse liefernde Gattung *Allium*, *Lauch*, ferner *Urginea* (Fig. 504), die Meerzwiebel der Mittelmeerküsten ausnahmslos *Lilieae*. *Ornithogalum umbellatum* (Fig. 503) mag als Beispiel dienen. Im Herbste untersucht zeigt die Pflanze eine Zwiebel aus fleischigen Schuppen, mit je einer Narbe am oberen Rande. Aus dem unteren Teile treten zahlreiche Wurzeln hervor. Untereinander sind die Schuppen mehr oder weniger verwachsen. In der Achsel der innersten Zwiebelschuppe steht der

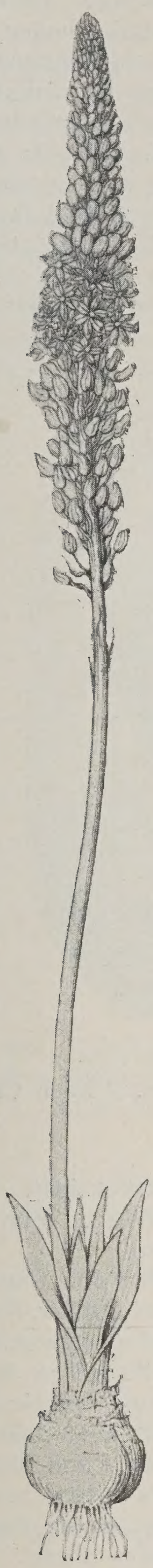


Fig. 504. Urginea maritima. ca. $^1/_{10}$ nat. Gr. — Officinell. (Nach Berg und Schmidt.)

Fig. 505. Aloë socotrina, blühende Pflanze (stark verkleinert). Blattspitze, Einzelblüte und Fruchtknotenquerschnitt. $^2/_3$ nat. Gr. — Officinell.

abgeblüte Inflorescenzstiel und ein junges aus einer Reihe von Blättern gebildetes Knöspchen. Diese Blätter sind bis auf das äußerste, mit kurzer Spitze abschließende sämtlich mit einer Spreitenanlage versehen; den Schluß bildet die Blütenstandsanlage. Im Frühjahr wachsen die Blätter zu linealen, langgestreckten Gebilden heran und erheben sich mit der Inflorescenz über den Boden. Durch sparrige Verzweigung ist der Blütenstand charakteristisch. Seine weißen Einzelblüten enden in einem dreifächerigen Fruchtknoten, den ein gemeinsamer Griffel krönt. Die Blätter gehen dann in ihren oberirdischen Teilen zu grunde und setzen sich gegen die Basis, welche inzwischen fleischig angeschwollen und mit Reservestoffen gefüllt ist, durch eine Narbe ab, wie sie an den jetzt längst zu trockenen Häuten gewordenen Schuppen des vorigen Herbstes sich fanden. In ähnlicher Weise verläuft bei allen genannten Zwiebelpflanzen der jährliche Entwicklungsgang. Die Vegetationszeit ist auf wenige Monate beschränkt; allen Unbilden der Kälte oder, da es sich meist um Pflanzen warmtemperierter Gebiete handelt, der

Fig. 506. Dracaena draco. Drachenbaum von Laguna, Canarische Inseln. (Nach CHUN, Aus den Tiefen des Weltmeeres.)

Trockenheit trotzt die Pflanze, indem sie sich unter den Erdboden zurückzieht. Von baumförmigen *Lilieae* ist die *Aloë* mit fleischigen, am Rande bewehrten Blättern (Fig. 505) zu nennen, artenreiche Gattung Afrikas.

Der durch Alter und eigenartigen Habitus bekannte Drachenbaum der Canaren (Fig. 506) gehört zur Unterfamilie der beerentragenden Asparageen. Ebenso *Smilax*, Sarsaparille, mit Hilfe rankenartiger Emergenzen ihrer Blattstiele kletternde Sträucher wärmerer Länder. Hierher ferner *Asparagus*, Spargel, mit büschelig gehäuften Phyllocladien (S. 21) anstatt der Blätter, *Convallaria* (Fig. 33) *Majanthemum*, *Polygonatum*, *Paris quadrifolia*, Einbeere (Fig. 507). Alle diese Pflanzen besitzen kriechende Rhizome, die mit Niederblättern besetzt sind und jährlich entweder die Spitze ihres Hauptsprosses als Laub- und Blütenspröß über den Boden senden, dann ihr unterirdisches Rhizom durch einen Seitenzweig fortsetzen (*Polygonatum*, Fig. 23), oder sie haben eine unterirdisch fortwachsende Hauptachse, die jährlich einen Achselsproß als Laub- und Blütensproß ausbildet (Paris). Der unregelmäßige Blütenbau von Paris hängt mit dem Festhalten der Gliederzahl in allen Wirteln zusammen, so finden sich neben der am häufigsten auftretenden vierblättrigen Form auch Individuen mit 3 bis 5 und 6 Laubblättern, die dementsprechend auch 3-, 5- und 6zählige Blüten besitzen.

Giftig: Zahlreiche *Liliaceen* sind mehr oder minder giftig, so das Mai-

glöckchen, Tulpen- und Kaiserkronzwiebeln, *Fritillaria*, besonders aber von einheimischen Pflanzen: *Colchicum*, *Veratrum* und *Paris*.

Officinell: *Colchicum autumnale*: Semen Colchici (Pharm. germ., austr., helv.); *Veratrum album*: Rhiz. Veratri (Pharm. germ., helv.); *Schoenocaulon* (*Sabadilla*) *officinale*, ein grasblättriges Zwiebelgewächs der mittelamerikanischen und venezolanischen Gebirge, liefert Semen Sabadillae (Ph. austr., helv.) und *Veratrinum* (Pharm. germ., austr., helv.), *Aloë ferox*, *A. africana*, *A. plicatilis*, *A. vulgaris*: Aloë (Pharm. germ., austr., helv.), *Urginea maritima*: Bulbus Scillae (Pharm. germ., austr., helv.), *Smilax*-Arten: Rad. Sarsaparillae (Pharm. germ., austr., helv.), *Convallaria majalis*: Herba Convallariae (Pharm. helv.).

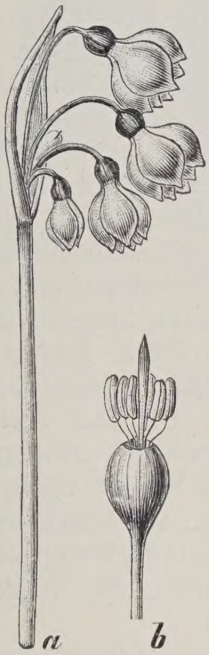


Fig. 508. Leucojum aestivum. *a* Blütenschaft (verkleinert), *b* Gynöceum und Andröceum (nat. Gr.).

Fig. 509. Diagramm der Iridaceae. (Iris).

Fig. 507. Paris quadrifolia. 1/2 nat. Gr. — Giftig.

3. Familie ***Amaryllidaceae.*** Von den Liliaceen nur durch unterständigen Fruchtknoten unterschieden. Die Zwiebelgewächse *Leucojum* (Fig. 508), *Galanthus*, Schneeglöckchen, *Narcissus* im Habitus den Zwiebel besitzenden Liliaceen ähnlich; *Agave*, mächtige Blattsucculenten des wärmeren Amerika als Gespinstpflanzen wichtig. *A. mexicana*

liefert in ihrem nach Abschneiden der Inflorescenzknospe reichlich ausfließenden vergorenen Safte, Pulque: Nationalgetränk der Mexikaner *Agave*-Arten vielfach am Mittelmeer akklimatisiert, werden oft von Laien für mediterrane Charakterpflanzen gehalten.

4. Familie ***Iridaceae.*** Von den Liliaceen durch unterständigen Fruchtknoten und Fehlen des inneren Andröceumwirtels unterschieden, vgl. Diagramm (Fig. 509). Die beiden Perigonkreise sind bei den Iridaceen nicht immer gleichartig. Antheren extrors. Die Iridaceen zeigen stets ungestielte Blätter, überwiegend knollenförmige oder gestreckte Rhizome, Zwiebeln sind minder häufig. Loculicide Kapselfrüchte.

Fig. 510. Crocus sativus. Griffel mit dreiteiliger Narbe. (Nach BAILLON.) — Officinell.

Crocus sativus, Safran eine alte Kulturpflanze des Orientes mit schmal grasartigen Blättern und knollenförmigem Rhizom. Die Blüten sind steril, wenn sie nicht mit Pollen wilder Formen bestäubt werden. Ihre großen Narben liefern den „*Crocus*“ oder Safran (Fig. 510). Andere Arten als Zierpflanzen.

Iris, durch reitende Blätter ausgezeichnet. Die Blätter umfassen das dickfleischige Rhizom mit ihrer Scheide, steigen vertikal empor und zeigen zwei gleiche Flanken bei schwertförmigem Umriß (Fig. 511). Äußerer Perigonkreis abwärts geschlagen, innerer aufgewölbt. Die drei Antheren werden von den drei großen kronartig entwickelten Narben völlig überdeckt, In der Gattung *Gladiolus* wird die Gleichartigkeit der Perigonblätter noch weiter gestört, die Blüten werden dorsiventral.

Officinell: *Crocus sativus*: Crocus (Pharm. germ., austr., helv.). *Iris florentina, pallida, germanica* (Fig. 511) des Mittelmeergebietes: Rhizoma Iridis (Pharm. germ., austr., helv.).

5. Familie ***Dioscoreaceae.*** Kletternde oder schlingende Sträucher der Tropen mit diklinen Blüten, pfeilförmigen Blättern und mächtigen, knolligen Rhizomen. Einheimisch nur *Tamus communis*. *Dioscorea Batatas*, Yamswurzel Chinas. *Testudinaria Elephantipes* in botanischen Gärten kultiviert.

6. Familie ***Bromeliaceae.*** Hauptsächlich epiphytisch lebende Pflanzen mit zwitterigen Blüten und wechselnder Stellung des Gynöceums. Eine ausschließlich amerikanische, auf Tropen und Subtropen beschränkte Familie mit typisch xerophilen Blättern, oft von rosettenförmiger Anordnung und bei erdbewohnenden Formen scharf bewehrt. *Ananassa sativa* liefert in ihrem Fruchtstand die Ananas, findet sich vielfach in den Tropen angebaut und verwildert.

Fig. 511. Iris germanica. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell.

6. Ordnung. Scitamineae.

Tropische Stauden von zum Teil gewaltigen Dimensionen, in einzelnen Fällen baumartig. Blüten dorsiventral oder asymmetrisch. Perianth in Kelch und Krone gesondert. Andröceum stark reduziert, zum Teil staminodial, blumenkronähnlich. Fruchtknoten unterständig, dreifächerig. Samen mit Perisperm.

1. Familie ***Musaceae.*** *Musa*, Banane, eine der wichtigsten Fruchtpflanzen aller tropischen Gegenden. Die einander dicht umschließenden Scheiden der mächtigen Blätter bilden ein stammartig aussehendes Gebilde. Infloresecenz endständig. Beerenfrüchte. Manilahanf von *M. textilis.*

2. Familie ***Zingiberaceae.*** Blüten in Ähren von bisweilen köpfchenartigem Habitus. Einzelblüte dorsiventral. Kelch unscheinbar, röhrig. Krone dreizipfelig. Äußerer Andröceumkreis fehlend oder in zwei seitlichen Staminodien (Fig. 512 sst^1, sst^2) vertreten. Das hintere Staubblatt des inneren

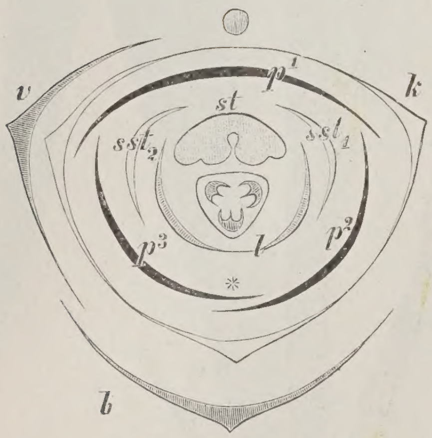


Fig. 512. Diagramm der Zingiberaceenblüte (nach Eichler). *b* Deckblatt, *v* Vorblatt, *k* Kelch, p^{1-3} Kronblätter, sst_1 und $_2$ Staminodien des äußeren Andröceumwirtels, * fehlendes Staubblatt desselben Wirtels, *st* einziges fertiles Staubblatt, *l* blumenkronartige Staminodien des inneren Andröceumwirtels, hier Labellum genannt.

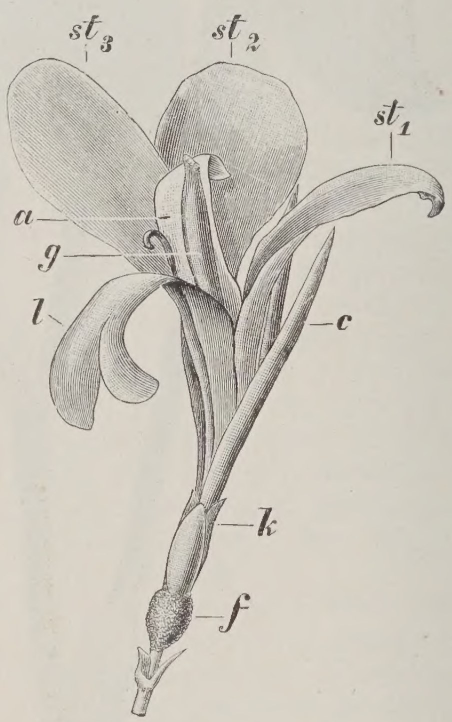


Fig. 514. Blüte von Canna iridiflora. *f* Fruchtknoten, *k* Kelch, *c* Krone, *l* Labellum, *st 1—3* die übrigen Staminodien, *a* fertiles Staubblatt, *g* Griffel. $^1/_2$ nat. Gr.

Kreises allein fertil (*st*), die beiden übrigen vereinigt als Labellum (*l*), blumenkronartig und lebhaft gefärbt. Griffel verläuft in dem röhrenartigen Einschnitt zwischen den beiden Thecae des Staubblattes. Kapselfrüchte. Meist dem tropischen Asien angehörig.

Zingiber officinale, der Ingwer, eine alte Kulturpflanze Südostasiens, jetzt überall in den Tropen kultiviert. Das flache, geweihartig verzweigte Rhizom steht auf der hohen Kante im Boden. Blätter zweizeilig; Achselknospen der Unterseite gefördert, sie setzen den Hauptsproß fort. Laubzweige werden trotz ihrer Länge fast nur aus den Scheiden der großen ungeteilten, ganzrandigen Blätter gebildet, da die Achse außerordentlich kurz bleibt. Blütensprosse sind niedriger und nur mit Schuppenblättern ohne eigentliche Spreite bekleidet. Hochblätter, in deren Achseln die Einzelblüten stehen, groß und besonders an ihrem Rande lebhaft gefärbt. Blüten selbst hellgelb, durch ihr violettes, heller geflecktes Labellum auffallend. *Elettaria Cardamomum* und *Curcuma* haben

ebenfalls nur mit Schuppenblättern bestandene Inflorescenzen, *Alpinia* dagegen, wie die häufig kultivierten *Hedychium*-Arten tragen die Blütenstände an normal belaubten Sprossen.

Officinell: *Zingiber officinale* (Fig. 513): Rhiz. Zingiberis (Pharm. germ., austr., helv.), *Elettaria Cardamomum*: Fructus Cardamomi (ibid.), Cardamome, *Curcuma Zedoaria*, Zittwer.: Rhiz. Zedoariae (ibid.), *Alpinia officinarum*, Galgant: Rhiz. Galangae (Pharm. germ., helv.).

Fig. 513. Zingiber officinale. $^1/_2$ nat. Gr. (Nach BERG und SCHMIDT.)

3. Familie ***Cannaceae.*** Großblättrige Stauden häufig kultiviert. Blüten asymmetrisch (Fig. 514). Nur eine halbe, also monothecische, Anthere, die andere Hälfte blumenblattartig.

4. Familie ***Marantaceae.*** Großblättrige Stauden. Blätter am Ansatz der Spreite mit Gelenkpolster. Ebenfalls nur eine monothecische Anthere in den asymmetrischen Blüten.

Officinell: *Maranta arundinacea*: Amylum Marantae (Pharm. austr.), Westindisches Arrowroot.

7. Ordnung. Gynandrae.

Familie ***Orchidaceae.*** Perennierende, krautige, erdbewohnende oder epiphytische Gewächse mit zwitterigen, stark dorsiventralen Blüten. Perianth

kronartig, das hintere Blatt des inneren Kreises als Lippe, *Labellum*, ausgebildet, häufig in einen Sporn auslaufend. (Das bei den Scitamineen erwähnte Labellum ist morphologisch ganz anderer Natur, da es zwei staminodialen Staubblättern entspricht.) Andröceum auf die drei vorderen Glieder beschränkt, von denen meist das mittlere, dem äußeren Kreise angehörige

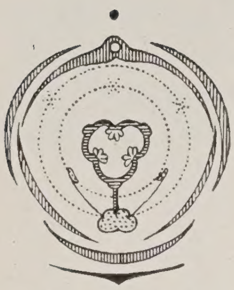


Fig. 515. Orchidaceen-Diagramm (Orchis).

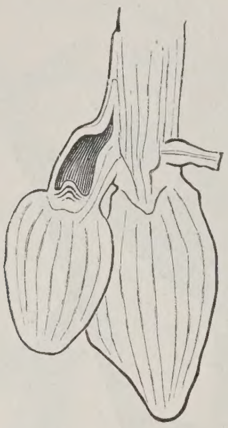


Fig. 516. Orchis militaris. Längsschnitt durch Mutter- und Tochterknolle. (Nach Lürssen.) — Officinell.

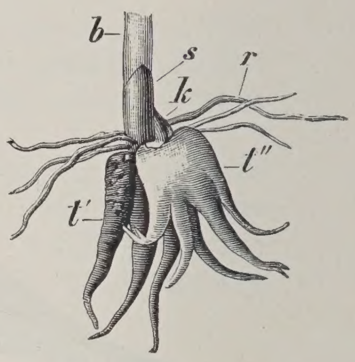


Fig. 517. Wurzelsystem von Orchis latifolia. *b* Basis des Stengels, *s* Niederblatt, *t'* alte, *t''* junge Knolle, *k* Knospe, *r* Wurzeln.

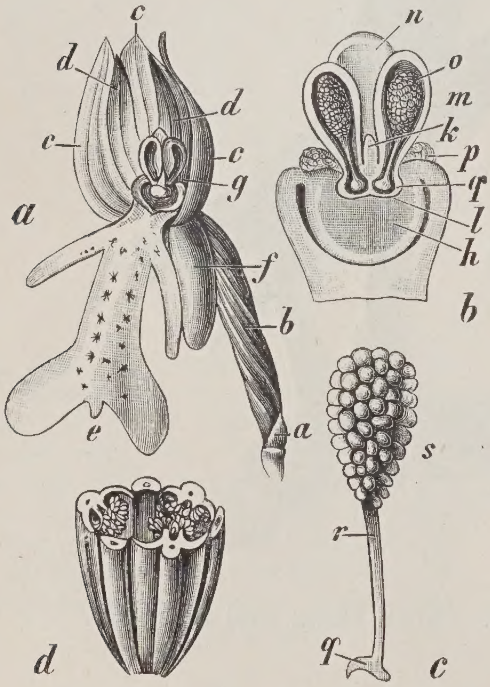


Fig. 518. Orchis militaris. *a* Eine von der kleinen Bractee (*a*) gestützte Blüte, *b* Fruchtknoten, *c* die äußeren, *d* die beiden oberen inneren Perigonblätter, *e* Labellum mit dem Sporne *f*, *g* Gynostemium. — ***b*** Dieselbe nach Entfernung des Perigons mit Ausnahme des oberen Teils des Labellum, *h* Narbe, *l* Rostellum, *k* zahnartiger Fortsatz des Rostellum, *m* Fach der Anthere, *n* Konnektiv, *o* Pollinarium, *q* Klebmasse, *p* Staminodium. — ***c*** Einzelnes Pollinarium, *r* Caudicula, *s* Pollen, stark vergrößert. — ***d*** Frucht im Querschnitt, schwach vergrößert. (Nach Berg und Schmidt.)

Fig. 520. Vanilla planifolia (nach Berg und Schmidt aus Engler-Prantl), verkleinert. *A* Lippe und Gynostemium, *B* Gynostemium von der Seite, *C* Gynostemiumspitze von vorn, *D* Anthere, *E* Samen, vergr. — Officinell.

(seltener, z. B. bei *Cypripedium*, die beiden seitlichen des inneren Wirtels) allein fertil ausgebildet ist, während die anderen (resp. das andere) Staminodien darstellen. Gynöceum aus drei Fruchtblättern verwachsen, einfächerig, unterständig. Kapselfrüchte. Samen äußerst zahlreich an den randständigen, also parietalen Placenten (Fig. 515). Das fertile Staubblatt verwächst mit dem Griffel zu einem Säulchen, *Gynostemium*, welches in der Mitte der Blüte mehr oder minder emporragt. Durch Drehung der ganzen Blüte um 180° (vgl. 515 u. 518) oder Übernicken gelangt die als Anflugstelle für Insekten dienende Lippe auf die Vorderseite der Blüte.

Die Haupteinteilung dieser auf 6000—10000 Arten geschätzten Familie gründet auf der Fruchtbarkeit des einen äußeren oder der beiden inneren Staubblätter, wonach Monandrae von Diandrae getrennt werden.

Wichtigste einheimische Gattungen: 1. Monandrae: *Orchis*, Knabenkraut, *Ophrys*, *Gymnadenia*, *Platanthera*, alle mit Knollen; *Epipactis*, *Cephalanthera*, *Listera*, ohne solche, mit verzweigtem Rhizom. *Neottia*, Nestwurz, *Coralliorrhiza*, *Epipogon*, *Limodorum*, saprophytisch und fast oder ganz chlorophyllfrei. 2. Diandrae: *Cypripedium*, Frauenschuh.

Zur genaueren Darstellung mag eine unserer häufigeren einheimischen *Orchis*-Arten, *Orchis militaris*, dienen, die in Fig. 519 wiedergegeben ist. Untersucht man eine solche Pflanze zur Zeit ihrer Blüte, so findet sich ein Paar fleischiger Knollen als Ausgangspunkt. Beide sind mit einem Flaum von Wurzelhaaren überdeckt. Die größere braune Knolle, von mehr schwammiger Beschaffenheit, setzt sich nach oben in den von ein paar Niederblättern und den Scheiden der 2–4 Laubblätter länglich-elliptischer Form umhüllten Inflorescenzstiel fort, welcher mit einer pyramidalen Blütentraube abschließt. Die kleinere Knolle ist von weißer Farbe und festerer Konsistenz; sie trägt, wie der Längsschnitt (Fig. 516) zeigt, eine Knospe auf dem Scheitel, die bereits ein paar Scheidenblätter entwickelt hat. Es handelt sich um den in der Achsel eines der ersten Scheidenblätter der Pflanze, dicht über der älteren braunen Knolle gebildeten Achselsproß, welcher mit seiner als Reservestoffbehälter knollig anschwellenden Wurzelanlage das Scheiden-

Fig. 519. Orchis militaris. 1/2 nat. Gr. — Officinell.

blatt alsbald durchbricht (Fig. 519) und bestimmt ist, die Mutterpflanze im nächsten Jahre zu ersetzen. Anatomische und morphologische Abweichungen den sonstigen an der Pflanze wahrnehmbaren Wurzeln gegenüber, werden durch die Annahme erklärt, daß die Knolle aus mehreren miteinander verwachsenen Wurzelanlagen hervorgeht. Eine bei zahlreichen anderen Orchisarten sich findende handförmige Verzweigung der Knollen (Fig. 517) macht diese Ansicht sehr wahrscheinlich.

Bei Betrachtung der Blüten fällt sogleich die schraubige Drehung des Fruchtknotens auf, welcher hier die Auswärtskehrung der Unterlippe zu danken ist. Sie ist dreizipfelig und ihr Mittellappen teilt sich am Ende abermals in zwei gabelig auseinanderstehende Läppchen. Ganz an der Basis dieses Labellum ist ein Sporn als Aussackung zu erkennen. Er dient als Nektarium und seine Öffnung findet sich direkt unter dem Gynostemium (Fig. 518 *a*, *b*). Dieses bedarf nun einer genaueren Beschreibung. Es trägt auf seiner der Unterlippe und den sich darauf niederlassenden Insekten zugekehrten Seite eine große Narbenfläche (*h*), welche zwei vereinigten Narben entspricht. Die dritte Narbe ist zu einem als Rostellum bezeichneten Gebilde (*l*, *k*) umgeformt und dient der Ausrüstung der männlichen Organe. Die eine fruchtbare Anthere besitzt zwei Thecae, durch das als Abschluß des Gynostemiums sichtbare Konnektiv (*n*) verbunden. Die ganze Pollenmasse jedes der beiden Fächer wird durch eine Bindesubstanz zusammengehalten, welche gleichzeitig nach unten in einen Stiel ausläuft; sie heißt Pollinarium, das Stielchen Caudicula. Das Ganze ist von wachsartiger Konsistenz. Die Caudiculae enden nun an jenem Rostellum, welches eine Klebmasse von zäher Beschaffenheit bildet und geeignet ist, einmal die Pollinarien, welche frei im Fache liegen, an Ort und Stelle festzuhalten, andererseits aber auch sie an andere damit in Berührung gelangende Körper anzuheften. Versucht nun ein auf der Unterlippe sitzendes Insekt den im Sporn ausgeschiedenen Nektar zu erreichen, so muß es mit Kopf oder Rüssel das Rostellum berühren und die Pollinarien mitnehmen. Durch Eintrocknen der Klebmasse biegen diese sich nach vorn und werden daher bei der nächst besuchten Blüte genau auf die Narbenfläche gelangen müssen.

In ähnlicher, vielfach noch weit komplizierterer Art sind alle Orchidaceen auf Insektenbesuch angepaßt, dessen sie zur Bestäubung ihrer Blüten nicht entbehren können. Zur Vervollständigung ist noch hinzuzufügen, daß bei anderen Formen, z. B. Vanilla, der Pollen körnig bleibt. Zahlreiche tropische Orchidaceen werden ihrer herrlichen Blüten wegen bei uns in Gewächshäusern kultiviert.

Officinell: *Orchis*-Arten und verwandte Formen mit eiförmigen, nicht handförmig zerteilten Knollen: Tubera Salep (Pharm. germ., austr., helv.). — *Vanilla planifolia*, ein in Mexiko einheimischer, vielfach in den Tropen kultivierter Wurzelkletterer (Fig. 520): Fructus Vanillae (Pharm. germ., austr., helv.).

2. Unterklasse.

Dikotylae (14).

Die Dikotylen sind bis auf vereinzelte Ausnahmen mit zwei Keimblättern versehen, welche bei der Keimung als grüne assimilierende Blätter sich ausbreiten oder aber in der Samenschale stecken bleiben und ihre aufgespeicherten Reservestoffe dem Keimling zuführen. Dieser erhebt alsdann seinen bisher zwischen jenen liegenden Vegetationspunkt und beginnt den Aufbau des Stämmchens. Gleichzeitig hat die am Embryo angelegte Hauptwurzel sich in die Erde eingebohrt; sie bleibt meist als mächtig entwickelte Pfahlwurzel erhalten und bildet ein regelmäßig verzweigtes Wurzelsystem aus.

Stamm und Wurzel besitzen kreisförmig angeordnete offene Gefäßbündel (resp. abwechselnd gelagerte Gefäß- und Siebteile) auf dem Querschnitte. Das in ihnen (resp. auf der Innenseite der Siebteile) erhaltene, primäre Meristem wird bald durch die zwischenliegenden Markstrahlen hindurch zu einem geschlossenen Ringe ergänzt, der als Cambium ein regelrechtes Dickenwachstum der Stämme und Wurzeln vermittelt. (Vgl. Fig. 127—129, S. 97, 98; Fig. 136, 137, S. 106. 107.)

Das typische Dikotylenblatt ist mit mehr oder minder langem Stiel versehen, es besitzt häufig Nebenblätter als Auszweigungen des Blattgrundes, entbehrt aber meistens einer Scheide. Seine Spreite ist einfach oder zusammengesetzt; doch kommt ihre Zerteilung stets nur durch Verzweigung der Blattanlage zu stande. Der Blattrand ist von sehr verschiedenartiger Form, die Nervatur in der Regel netzadrig (Fig. 521).

Die Blüten der Dicotylen sind außerordentlich verschieden, doch stellt fünfwirteliger Bau und fünf als Grundzahl für die Glieder der einzelnen Wirtel das häufigste Vorkommen dar. Vermehrung oder Minderung der Glieder wie der Wirtel finden sich. Die Dikotylen werden in zwei Reihen eingeteilt, welche als *Choripetalae*, mit getrennten Kronblättern, und *Sympetalae*, mit verwachsenen Kronblättern versehene Dikotylen bezeichnet werden.

Fig. 521. Blatt von Crataegus mit netziger Nervatur. 3/4 nat. Gr.

Die hier gewählte Reihenfolge entspricht im allgemeinen der in ENGLER und PRANTL, Nat. Pflanzenfamilien eingehaltenen, doch wird die Zusammenfassung mehrerer Familien unter den älteren Ordnungsnamen beibehalten. So ist die Anordnung gegenüber der letzten Auflage wesentlich verändert.

Der von HALLIER in neuester Zeit veröffentlichte „Vorläufige Entwurf des natürlichen (phylogenetischen) Systems der Blütenpflanzen" hat in manchen Punkten vieles für sich. Z. B. ist die Trennung der Choripetalen und Sympetalen, die HALLIER fallen läßt, zweifelsohne eine künstliche und bekanntlich keineswegs durchgreifende. Auch die Auffassung der Amentifloren als Reduktionsformen, wie der Ausgang der Dikotylen von den Magnoliaceen kann sehr wahrscheinlich gemacht werden. Die Ableitung der Monokotylen aus den *Polycarpicae* wird von ganz anderen Gesichtspunkten aus auch von E. SARGANT vertreten. Immerhin müßte eine Bestätigung und Befestigung durch entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen, welche bisher noch völlig fehlen, wohl als „conditio sine qua non" für Durchführung und Neugestaltung des Systems hingestellt werden.

1. Reihe. Choripetalae (15).

1. Ordnung. Piperinae.

Einzige Familie, *Piperaceae*, wird durch wenige tropische Gattungen gebildet. Blüten meist eingeschlechtig und ohne Perianth in Ähren zusammengestellt; typisch dreizählig, meist jedoch reduziert. Fruchtknoten einfächerig, Samenanlage einzeln, grundständig und atrop. Steinfrüchte. Reichliches Perisperm umgibt den von spärlichem Endosperm umhüllten Embryo.

Die Gattung *Piper* umschließt eine große Zahl urwaldbewohnender Sträucher; *Piper nigrum* ist als Erzeuger des Pfeffers ihr wichtigster Vertreter. Im Malayischen Gebiet beheimatet, wird dieser Wurzelkletterer jetzt überall in den Tropen angebaut (Fig. 523). Seine unreifen Früchte geben den schwarzen Pfeffer, nach der Reife und Entfernung der äußeren Fruchtschale den weißen Pfeffer. Gattung *Peperomia* mit Zwitterblüten.

Officinell: Cubebae (Pharm. germ., austr., helv.), Früchte von *Piper Cubeba*, einem in Java einheimischen Wurzelkletterer (Fig. 522), durch stielartigen Fortsatz der Fruchtbasis von denen des schwarzen Pfeffers unterschieden.

2. Ordnung. Amentiflorae.

Holzgewächse mit unscheinbaren, anemophilen, eingeschlechtigen Blüten. Männliche in kätzchenförmigen, meist hängenden Ähren (vgl. S. 251), welche dem Winde erlauben, die reifen Pollenmassen auszuschütteln; weibliche in verschiedenartigen Blütenständen. Samen ohne Endosperm. Zu dieser Ordnung gehören die wichtigsten mitteleuropäischen Laubwaldbäume.

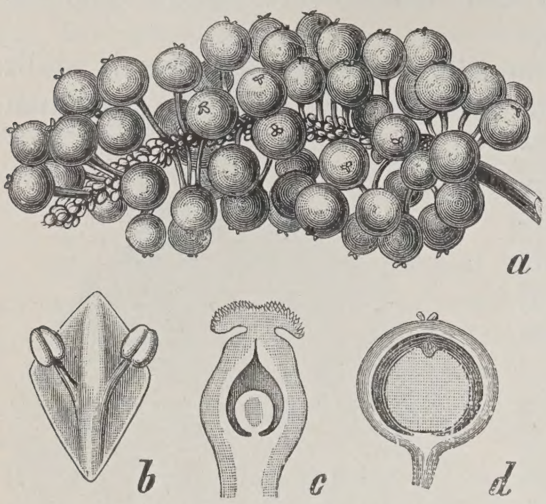


Fig. 522. Piper Cubeba. *a* Fruchtstand, nat. Gr., *b* männliche Blüte, vergr., *c* weibliche Blüte, Längsschnitt, vergr., *d* Frucht, Längsschnitt, vergr. (Nach BERG und SCHMIDT.) — Officinell.

1. Familie ***Casuarinaceae.*** Strand und Hochgebirg bewohnende Bäume mit reicher Verzweigung von schachtelhalmähnlichem Aussehen, aus Südostasien und Australien bis über die polynesischen Inselgruppen verbreitet. An Casuarina wies TREUB zuerst die Chalazogamie (11) nach, welche vielfach in der Ordnung vorkommt.

2. Familie ***Juglandaceae.*** Stattliche, monöcische Bäume der nördlichen Hemisphäre mit unpaarig gefiederten aromatischen Blättern in wechselständiger Anordnung. Nebenblätter fehlen. Männ-

Fig. 523. Piper nigrum. $1/2$ nat. Gr.

liche Kätzchen aus den Achseln vorjähriger Blätter; weibliche Blüten (meist) endständig in mehr oder minder reichblütigen Ähren. Fruchtknoten unterständig.

Der Walnußbaum, *Juglans regia* (Fig. 524), ist der bekannteste Vertreter der Familie. In Westasien und im östlichen Mittelmeergebiet einheimisch wird der Baum jetzt in ganz Europa viel kultiviert. Im Frühjahre strecken sich aus Achselknospen vorjähriger Blätter lange, herabhängende, dicke Kätzchen, deren Achse mit zahlreichen Einzelblüten bedeckt ist. Jede besteht aus 3—5 Perianthblättern, welche mit zwei Vor-

Fig. 524. Juglans regia. $^1/_2$ nat. Gr. *1* Zweig mit jungem Laub, männlichen Kätzchen und weiblichen Blüten am Gipfel, *2* männliche, *3* weibliche Einzelblüte, *4* Frucht, deren äußere Schale zum Teil entfernt ist. — Officinell.

blättern zusammen dem Deckblatte angewachsen sind und zahlreiche Staubblätter umhüllen. Sie sind gegen die Inflorescenzspitze gekehrt. Weibliche Blüten stehen in geringer Zahl am Gipfel der jungen Sprosse. Ihre zwei Fruchtblätter enden in großen, federigen, auseinanderspreizenden Narben. Perigon wiederum mit Deckblatt und Vorblättern verwachsen, erreicht den Gipfel des unterständigen Fruchtknotens. Eine grundständige, atrope Samenanlage im einzigen Fache. Steinfrucht. Gerbstoffreiches Exokarp. Hartes Endokarp mit einer Rückennaht, welche der Mediane beider Fruchtblätter entspricht; halbhohe Scheidewand im unteren Teile der Frucht deutet die Grenze der Carpelle an. In der Fruchtschale ein von dünner Samenschale umschlossener

Embryo mit großen, ölreichen Kotyledonen, die von weiteren in die Fruchthöhlung vordringenden, unvollkommenen, falschen Scheidewänden mannigfach gelappt erscheinen. Endosperm fehlt. Auch andere *Juglans*- und *Carya*-Arten liefern eßbare Samen und geschätztes Nutzholz.

Officinell: Folia Juglandis (Pharm. germ., helv.) von *Juglans regia.*

3. Familie ***Myricaceae.*** *Myrica Gale,* diöcischer Strauch unserer Torfmoore mit ungeteilten Blättern. Amerikanische Formen liefern Wachs an ihren Früchten (vgl. S. 84).

4. Familie ***Salicaceae.*** Bäume oder Sträucher mit einfachen wechselständigen Blättern und Nebenblättern. Blüten in diöcischen Kätzchen, meist vor den Blättern entwickelt. Männliche wie weibliche Blüten nackt in der Achsel von Deckschuppen. Mehr oder minder ausgebildete Discusschuppen. Einfächeriger Fruchtknoten aus zwei Carpellen. Balgfrucht mit zahlreichen wandständigen, beschopften Samen.

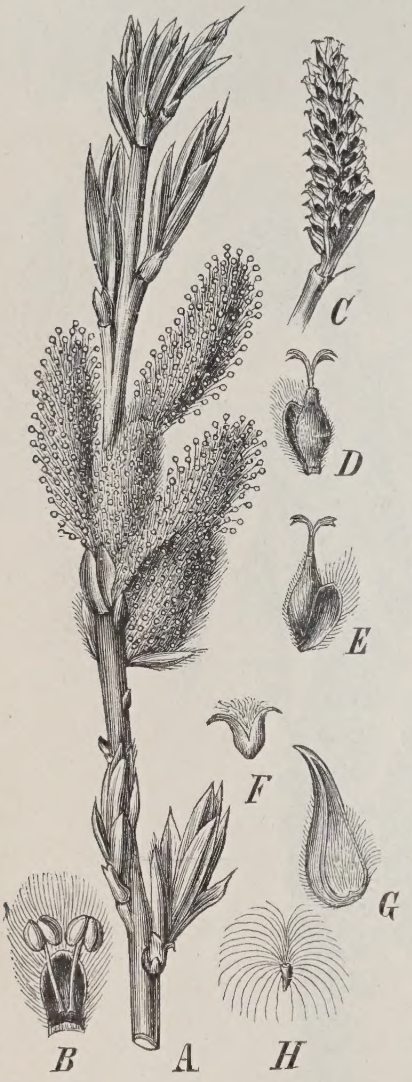


Fig. 525. Salix viminalis. *A* blühender, männlicher Zweig. Nat. Gr. *B* männliche Blüte mit Deckblatt, vergr. *C* weibliches Kätzchen. *D—E* weibliche Blüten, vergr. *F* Frucht. Nat. Gr. *G* dieselbe, vergr. *H* Samen, vergr.

Fig. 526. Populus nigra. *1* Männliche Inflorescenz, *2* weibliche Infl., *3* männliche, *4* weibliche Einzelblüte, *5* Früchte, *6* Samen. *1* und *2* $^3/_4$ nat. Gr. *3—6* vergr.

Salix, Weide, und *Populus,* Pappel, sind die einzigen Gattungen der hauptsächlich in der nördlichen gemäßigten Zone verbreiteten Familie. *Salix,* mit aufrechten Kätzchen versehen, ist an Insektenbestäubung angepaßt und besitzt daher Honigdrüsen in Gestalt der kleinen Discusschuppen; männliche Blüten wohlriechend, ihr Pollen klebrig. Zahl der Staubblätter wechselt in den verschiedenen Arten von 2—5. Deckschuppen sind ganzrandig (Fig. 525). Bei uns an Flußufern weit verbreitet, wo sie mit ihren kurzgestielten, schmallanzettlichen Blättern ein charakteristisches Bild geben. Als unterirdische niedrige Stämmchen (vgl. *Salix polaris* Fig. 195), die nur ihre jedesmaligen jungen Triebe über den Boden emporsenden, gehören *Salix*-Arten im hohen Norden zu den häufigeren Pflanzenformen. *Populus* mit anemophilen Blüten, Discus hier mehr krug-

schüsselförmig ausgebildet. Honigabsonderung fehlt. Durch langgestielte, kreisförmige Blätter unterscheiden sich die einheimischen Pappelarten habituell erheblich von den Salices. Die Blüten stimmen bis auf die zerschlitzten Deckschuppen mit denen von *Salix* überein. Kätzchen hängend (Fig. 526).

Officinell: Cortex Salicis von *Salix alba*, *S. fragilis* usw. (Pharm. austr., helv.).

5. Familie ***Betulaceae***. Bäume und Sträucher mit ungeteilten Blättern und hinfälligen Nebenblättern. Blütenverteilung monöcisch. Männliche Kätzchen mit der Deckschuppe angewachsenen Blüten. Fruchtknoten unterständig, zweifächerig mit zwei langen Narben und einer hängenden anatropen Samenanlage in jedem Fache. Einsamige Schließfrüchte in derber Schale. Anemophile Pflanzen.

Wichtigste deutsche Gattungen: *Alnus glutinosa*, unsere Schwarzerle, ist ein stattlicher Baum feuchter Wälder, auch an Sümpfen und Flußufern der Ebene verbreitet (Fig. 527). Ihre verkehrt eiförmigen Blätter enden stumpf. Blütenstände erscheinen bereits im Herbste des Vorjahres als gestielte Kätzchen, die männlichen lang herabhängend, die kurzen weiblichen aufgerichtet. Männliche Blüten P4, A4 in dreizähligen Dichasien jedem Deckblättchen angewachsen (Fig. 528). Weibliche in Zweizahl vorhanden; ihr Deckblättchen verwächst mit den vier Vorblättern (also gerade so vielen wie bei den männlichen) zu einer dauernden, holzigen,

Fig. 527. Alnus glutinosa. *1* Blühender Zweig mit kleinen aufrechten weiblichen und hängenden männlichen Kätzchen, *2* eine Deckschuppe mit männlichen Blüten, *3* weibliches Kätzchen, *4* weibliche Blüte, *5* Fruchtstand, *6* Frucht, *1* und Blatt $^3/_4$ nat. Gr., *2—6* vergr.

Fig. 528. Alnus glutinosa. Diagramm eines männlichen Deckblättchens mit 3 Blüten (nach EICHLER), Deckblatt *b*, die zugehörigen Vorblätter *α β*, *α' β'*, *α, β,*, und 3 Blüten (cf. Fig. 527 *2*).

fünflappigen Schuppe des Zäpfchens. *Alnus incana* durch unterseits grau filzige Blätter verschieden. *Betula verrucosa* (Fig. 529), unsere weißrindige Birke mit langgestielten dreieckigen Blättern; in der Jugend auf allen Teilen mit zahlreichen Drüsenhaaren bedeckt, denen der harzig-aromatische Geruch entströmt. Männliche Blütenstände einzeln oder zu wenigen im Herbste des Vorjahres am Gipfel von Langtrieben gebildet. Blüten P 2, A 2 in dreizähligen Dichasien jedem Deckblättchen angewachsen. Antheren tief zweispaltig (Fig. 529 *3*, *4*). Weibliche Inflorescenzen einzeln am Gipfel kleiner diesjähriger Kurztriebe. Blüten in dreizähligen Dichasien unter jeder der dreilappigen, aus Deckblättchen und den beiden Vorblättchen verwachsenen Schuppen. Früchte in hängendem Fruchtstande, geflügelt; nach ihrem Ausfall zerfällt der Zapfen durch Ablösung der Schuppen. — *Carpinus Betulus*, Hainbuche, Weißbuche (Fig. 530). Wichtiger Waldbaum. Inflorescenzen erscheinen erst im Frühjahre; männliche aus Achselknospen vorjähriger Blätter, ohne solche oder von nur wenigen begleitet; weibliche meist gipfelständig. Deckblättchen der männlichen Kätzchen mit 4—10 bis zum Grunde gespaltenen

Fig. 529. Betula verrucosa. *1* Blütenzweig, männliche Inflorescenz gipfelständig, weibliche an kleineren Seitenzweigen, *2* weibliche, *3* männliche Einzelblüte, *4* ein Staubblatt, *5* ein Fruchtsproß, *6* Frucht. *1* und *5* $^2/_3$ nat. Gr., die übrigen vergr. — Officinell.

Staubblättern, aber ohne Vorblätter oder Perigon. Weibliche Blüten in Zweizahl unter jedem Deckblatt, jede von besonderem Deckblättchen und zwei Vorblättern begleitet. Diese drei verwachsen zu der dreilappigen Hülle, welche jedes der gerippten reifen Nüßchen einseitig umgibt und als Flugorgan ihrer Verbreitung dient. — *Corylus Avellana*, der stattliche Haselstrauch unserer Wälder (Fig. 531), entwickelt seine Inflorescenzen bereits im Vorjahre; männliche Kätzchen hängen während des Winters nackt herab, weibliche bleiben von den Knospenschuppen umhüllt und strecken nur zur Zeit der Blüte ihre langen roten Narben zwischen jenen hindurch ins Freie. Den männlichen Deckblättchen ist nur eine perianthlose, doch mit zwei Vorblättern versehene Blüte mit vier bis zum Grunde gespaltenen Antheren angewachsen. In den weiblichen sehr gestauchten Kätzchen findet sich ebenso wie bei Carpinus ein zweiblütiges Dichasium unter jedem Deckblatte vor; die geschlitzte Fruchthülle entsteht auch hier aus den Vorblättern und dem besonderen Deckblatt jeder Einzelblüte, das jedoch verhältnismäßig weniger beteiligt ist. — *Corylus tubulosa*, die auch in Deutschland viel kultivierte Lambertsnuß aus Südeuropa.

Officinell: Oleum Rusci s. betulinum, Birkenteer (Ph. helv.), von *Betula verrucosa*.

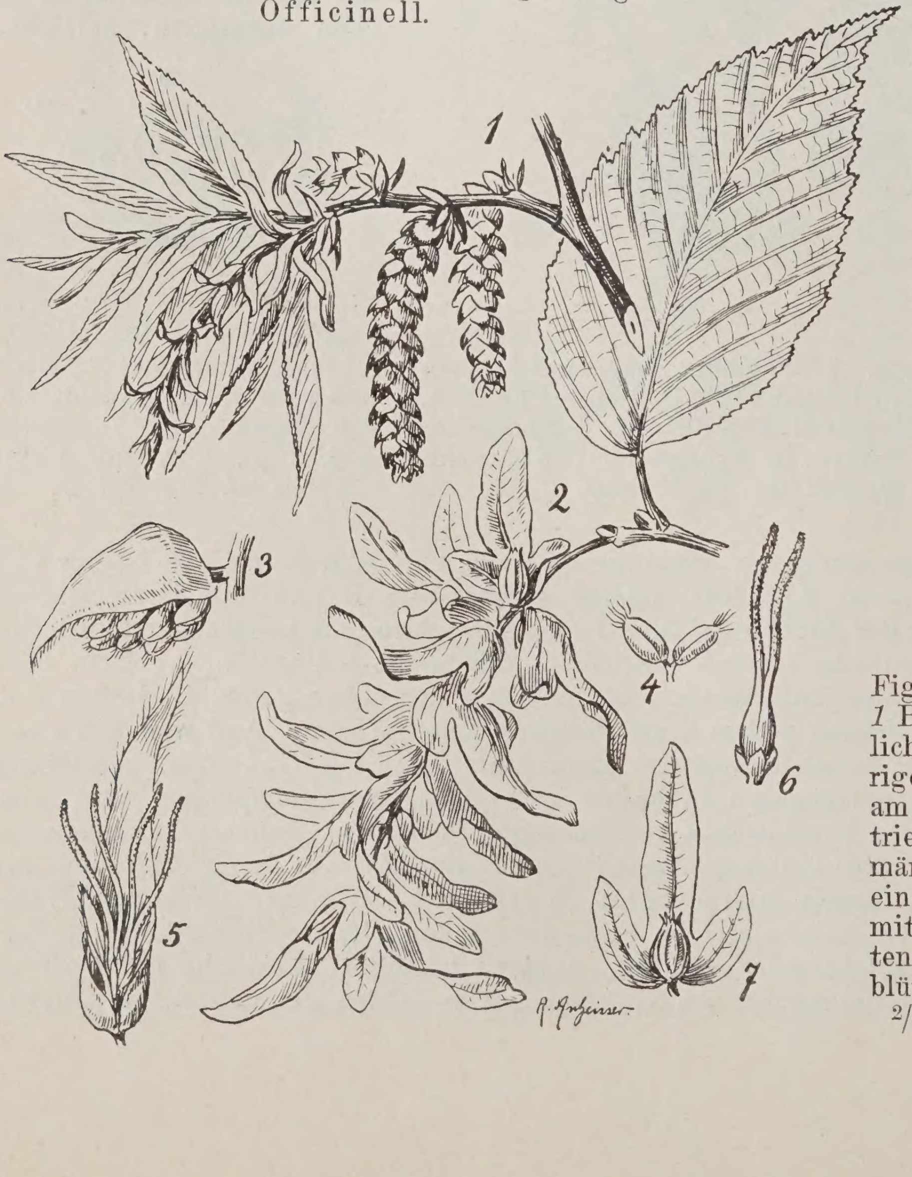


Fig. 530. Carpinus Betulus. *1* Blühender Zweig, männliche Kätzchen aus vorjährigen Knospen, weibliche am jungen neuen Jahrestriebe, *2* Fruchtstand, *3* männliche Einzelblüte, *4* ein Staubblatt, *5* Deckblatt mit zwei weiblichen Blüten, *6* weibliche Einzelblüte, *7* Frucht. *1*, *2*, *7* $^2/_3$ nat. Gr., *3*–*6* vergr.

Fig. 531. Corylus Avellana. *1* Blühender Zweig, *2* Fruchtstand, *3* Deckblatt mit zwei weiblichen Blüten, *4* männliche Blüte, *5* Staubblatt daraus, *6* Frucht aus der Hülle befreit. *1, 2, 6* $^1/_2$ nat. Gr., *3—5* vergr.

6. Familie ***Cupuliferae.*** Bäume oder Sträucher mit meist ungeteilten bis tief fiederspaltigen Blättern und hinfälligen Nebenblättern. Inflorescenzen blattachselständig, meist an diesjährigen Trieben. Blüten eingeschlechtig, monöcisch, mit Perianth. Fruchtknoten unterständig, dreifächerig, mit drei Narben und je zwei hängenden, anatropen Samenanlagen in jedem Fache. Weibliche Blüten einzeln oder zu mehreren von einer Cupula umhüllt, d. h. einem aus miteinander verwachsenen Vorblättern entstandenen Gebilde oder nach anderer Auffassung einer mit zahlreichen Blättern besetzten Achsenwucherung, die erst an den Früchten voll entwickelt ist (Fig. 532). Einsamige Schließfrüchte. Windblüher.

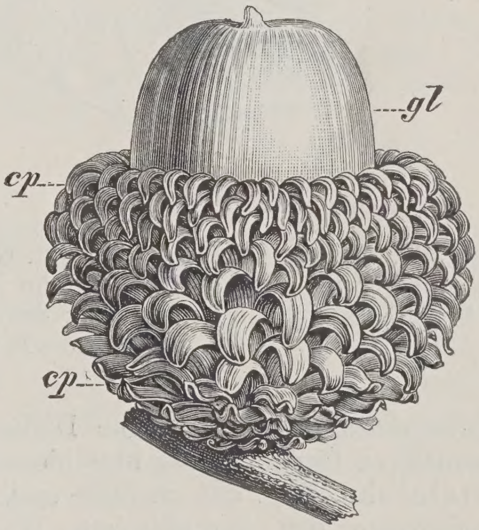


Fig. 532. Cupula von Quercus Aegilops (nach DUCHARTRE). *cp* Cupula, *gl* Frucht.

Wichtige einheimische Arten: *Fagus silvatica*, Buche, Rotbuche (Fig. 533), mit der wichtigste Laubbaum Deutschlands, in schönen Waldungen besonders an der Ostseeküste vertreten, wo seine Ostgrenze jedoch Königsberg nicht erreicht. Das Blatt ist ganzrandig, elliptisch kurzgestielt und besonders in der Jugend ringsum fein gewimpert. Blattstellung zweizeilig. Blütenstände durchweg an diesjährigen Trieben. Männliche

seitenständig, kopfförmig und hängend. Einzelblüten mit schief glockenförmigem Perianth und meist 8—12 Staubblättern. Weibliche Inflorescenzen gipfelständig, kopfig und aufrecht, stellen zweiblütige Dichasien dar. Cupula umfaßt beide Blüten und schließt die zu dreieckigen Nüssen heranwachsenden Früchte völlig ein; öffnet sich bei der Reife durch Aufspringen in vier Nähten. Ihre Oberfläche ist mit zahlreichen stumpfen Stacheln besetzt. *Castanea vulgaris*, Edelkastanie, im Mittelmeergebiet zu Hause, reift ihre Früchte nur noch in Südwestdeutschland. Inflorescenzen an diesjährigen Trieben aufrecht, führen teils nur männliche Blüten, teils unten weibliche, oben männliche. Dichasiale

Fig. 533. Fagus silvatica. $^2/_3$ nat. Gr. *1* Zweig mit männlichen und weiblichen Blütenständen, *2* männliche, *3* weibliche Einzelblüte, *4* Cupula, geöffnet mit zwei Früchten, *5* Frucht, isoliert, *6* Querschnitt durch eine Frucht, zeigt die gefalteten Kotyledonen des Embryo. *2*, *3*, *6* vergr. — Officinell.

Blütenanordnung. Weibliche Dichasien dreiblütig, daher drei Nüsse von der scharf stacheligen Cupula völlig umschlossen. Öffnung mit vier Klappen. *Quercus pedunculata*, Stieleiche (Fig. 534 u. 535) und *Quercus sessiliflora*, Traubeneiche, mächtigste Laubbäume der europäischen Wälder. Blätter etwas oval, beiderseits mehrfach stumpf ausgebuchtet; diejenigen der Traubeneiche etwas länger gestielt. Männliche Inflorescenzen zugleich mit dem frischen Laube aus vorjährigen oder den untersten diesjährigen Blattachselknospen hervorbrechend, herabhängend. Blüten einzeln, aus 5—7 Perianth- und 6—12 kurzen Staubblättern bestehend. Weibliche Inflorescenzen an der Spitze diesjähriger Sprosse blattachselständig, aufrecht, wenigblütig. Blüten einzeln, bei der Stieleiche langgestielt, bei der Traubeneiche sitzend. Jede Blüte

von ihrer Cupula umhüllt, die zunächst sehr unscheinbar, erst an der reifen Frucht voll entwickelt ist.

Die Buche liefert Brennholz, Quercus technisch verwertetes Holz, gerbstoffreiche Rinde für die Gerberei, Kork von der Korkeiche.

Officinell: Die deutschen Eichen liefern Cortex Quercus (Pharm. germ., austr., helv.) und Semen Quercus (Pharm. austr.). Die im Orient heimische *Q. infectoria* erzeugt an jungen Zweigen, wenn von der Gallwespe Cynips tinctoria Hart. gestochen, die officinellen Galläpfel, Gallae (Pharm. germ., austr., helv.). *Fagus silvatica* gibt Pix liquida (Pharm. austr.).

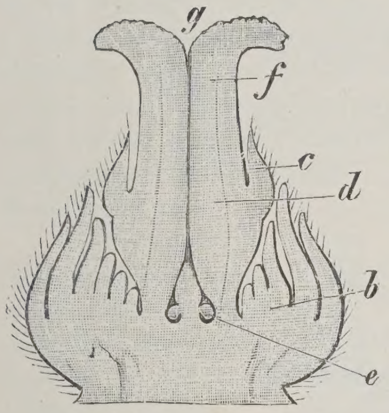


Fig. 534. Quercus pedunculata. Längsschnitt durch den jungen Fruchtknoten. *b* Becher, *e* Samenanlagen, *d* Fruchtknoten, *c* Perigon, *f* Griffel, *g* Narbe. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.)

Fig. 535. Quercus pedunculata. *A* Blühender Zweig, *B* männliche Blüte, vergr., *C* Staubblätter, vergr., *D* weibliche Blüte, vergr., *E* Fruchtstand, *F* Cupula, *G*–*H* Samen. — Officinell.

3. Ordnung. Urticinae.

Krautige Pflanzen oder Holzgewächse mit unscheinbaren, kleinen Blüten in dichten Blütenständen. Windbestäubung vorherrschend. Perianth einfach, kelchartig. Staubblätter den Perigonblättern gleichzählig und vor ihnen stehend (nicht alternierend). Fruchtknoten oberständig, aus einem oder zwei Fruchtblättern gebildet, meist einfächerig mit einer Samenanlage. Nüsse oder Steinfrüchte. Samen in der Regel endospermhaltig.

1. Familie ***Ulmaceae.*** Bäume oder Sträucher mit einfachen asymmetrischen Blättern in zweizeiliger Stellung. Ausgeprägte Fiedernervigkeit, rauhhaarige Oberfläche, gesägter Blattrand und hinfällige Nebenblätter sind charakteristisch. Blüten geknäuelt in den Achseln vorjähriger Blätter, zwittrig oder durch Fehlschlagen eingeschlechtig. 4—6 Perigonblätter, entsprechende Zahl Staubblätter davor stehend. Staubblätter in der Knospe gerade. Zwei Fruchtblätter, einfächeriger Fruchtknoten mit einer hängenden Samenanlage.

Ulmus campestris (Fig. 536). Rüster, häufiger Baum Mitteleuropas, doch selten in größeren Beständen. Bei ausgesprochen zweizeiliger Beblätterung und entsprechender Verzweigung aller Triebe, kommt die regelmäßige Rundung der Krone älterer Exemplare dadurch zu stande, daß die Blattflächen eines jeden Nebenzweiges um einen gewissen Winkel von denen des Hauptzweiges abweichen. Früchte reifen meist vor der Beblätterung des Baumes, der bereits im Februar blüht. Sie sind breit geflügelt und werden durch den Wind verbreitet. *U. montana*, *U. effusa* nahe verwandte Formen. Celtisarten, mit Steinfrüchten, häufig angepflanzt.

Fig. 536. Ulmus campestris. $^2/_3$ nat. Gr. *1* Blütenweig, *2* Zweig mit Früchten, *3* Einzelblüte, vergr.

2. Familie ***Moraceae***(16). Meist Bäume oder Sträucher mit reichem Milchsaftgehalt. Blätter wechselständig, hinfällige Nebenblätter. Blüten eingeschlechtig, in köpfchenähnlichen oder schüsselförmigen Inflorescenzen vereinigt; meist P 4, A 4 und P 4, G $(\underline{2})$. Vier Staubblätter stehen vor den Perigonblättern. Fruchtknoten zweicarpellig, einfächerig mit einer hängenden anatropen Samenanlage.

Wichtige Vertreter: Außer den Maulbeerbäumen, die zur Seidenraupenzucht (Morus alba) oder als Fruchtbäume (Morus nigra) (vgl. Fig. 477 *B*) vielfach kultiviert werden, ist vor allem die Gattung *Ficus* zu nennen. Der nördlichste Vertreter ist der gewöhnliche Feigenbaum, *Ficus carica* (Fig. 537), im südlichen Mittelmeergebiet einheimisch und seit langer Zeit kultiviert. Ein niedriger Baum mit fingerförmig eingeschnittenen Blättern; die Nebenblätter als Schutzkappe über der Knospe geschlossen. Blütenstände

in Form krugförmiger Gebilde mit enger Mündung. Einzelblüten sitzen auf der inneren Oberfläche dicht beisammen. Die flach scheibenförmigen Inflorescenzen von Dorstenia-arten, welche auf der Oberseite mit Einzelblüten besetzt sind, stellen in mancher Beziehung ähnliche Bildungen dar[17]. Bestäubung der Feigen wird durch eine Wespenart bewirkt, die in bestimmte weibliche Blüten, die Gallenblüten, ihre Eier ablegt. Die verbreiterte Blütenstandsachse mit dem Perigon der Einzelblüten bildet den fleischigen süßschmeckenden Teil der Eßfeigen. Die kleinen harten Kernchen sind aus den Fruchtknoten hervorgegangene Einzelfrüchtchen, Nüsse. — *Ficus*-Arten gehören mit zu den gewaltigsten Baumgestalten tropischer Wälder. Vor allem merkwürdig ist der *Banyan*, *Ficus bengalensis* in Ostindien. Auf Baumästen keimend aus Samen, der von fruchtfressenden Vögeln dorthin gebracht, entwickelt er sich zu einem stattlichen Epiphyten. Aber erst wenn er seine Wurzeln zum Boden hat hinabsenden können und nicht mehr auf die karge Epiphytenernährung angewiesen ist, zeigt sich seine wahre Gestalt. Der Wirtsbaum, auf dem er sitzt, wird nach und nach erdrosselt, immer neue Wurzeln erreichen den Boden und bilden säulengleiche Stämme, so daß schließlich ein ganzer Wald aus dem kleinen Keimling hervorgeht, und in dem Schatten der Krone ein Dorf Raum genug findet. — Milchsaft von *Ficus elastica* wird zur Gewinnung von Kautschuk den Bäumen durch Einschnitte entzogen. Ebenso ist *Castilloa elastica* ein wichtiger Kautschuklieferant Centralamerikas. *Artocarpus*-Arten, Brotbäume, Fruchtbäume der Tropen, deren riesige Fruchtstände roh oder geröstet genossen werden. *Cecropia*-Arten, Ameisenbäume Amerikas (vgl. S. 189).

Officinell: *Morus nigra* liefert Sirupus mororum (Pharm. austr., helv.); *Ficus elastica* (Ostindien), *Castilloa elastica* (Mexiko) und andere tropische Moraceen liefern in ihrem Milchsafte Cautschuc (Pharm. germ.).

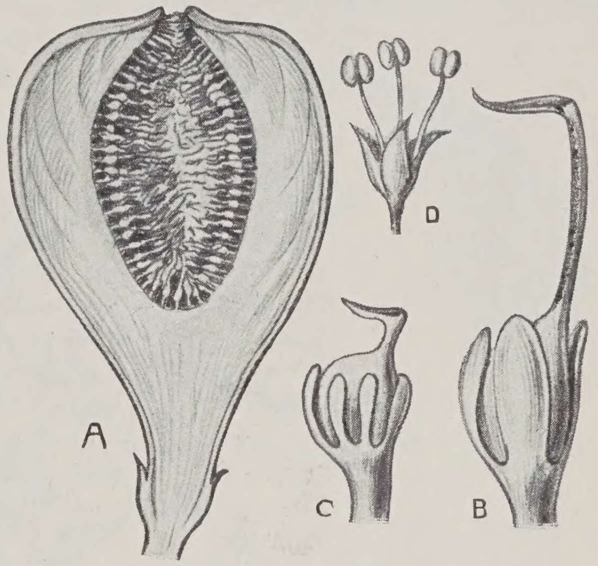


Fig. 537. Ficus carica. *A* Längsschnitt durch einen Blütenstand, *B* Samenblüte, *C* Gallenblüte, *D* männliche Blüte, *B—D* vergr. *D* nach KERNER, *B*, *C* nach SOLMS-LAUBACH.

3. Familie ***Cannabinaceae.*** Stauden oder einjährige Kräuter ohne Milchsaft, mit handnervigen Blättern und dauernden freien Nebenblättern. Blütenverteilung diöcisch. Männliche Blüten: P5, A5. Staubblätter auch in der Knospe gerade. Männliche Inflorescenzen Dichasien mit mittelständigem Bereicherungssproß. Weibliche Blüten haben niedriges ganzrandiges Perianth. Fruchtknoten zweicarpellig mit zwei großen federigen Narben, einfächerig mit einer hängenden anatropen Samenanlage. Windblüher, Frucht nußartig. Embryo gekrümmt.

Gattungen: *Humulus Lupulus*, Hopfen, in Mitteleuropa einheimisch, mit ausdauerndem Rhizom, das jedes Jahr neue schlingende Triebe bringt (Fig. 538). Stamm und gegenständige Blätter sind rauhhaarig; ersterer mit eigenartigen Widerhaken besetzt, die ein Herabgleiten von einer einmal gefaßten Stütze zu hindern geeignet sind. Die weiblichen Teilblütenstände sind kätzchenförmig, aus den allein übriggebliebenen Nebenblattpaaren spreitenloser Hochblätter aufgebaut. [Der Achselsproß dieses Hochblattes ist unterdrückt, jedes Nebenblatt trägt aber zwei Blüten, jede von einem eigenen Deckblatte umhüllt, in der Achsel. Diese Deckblätter wachsen bei der Reife über die Nebenblätter hinaus und bedingen das zäpfchenähnliche Aussehen des Fruchtstandes. Sie tragen die Hopfendrüsen, deretwegen die Pflanze kultiviert wird.

Cannabis sativa, Hanf. Einjähriges, in Indien heimisches Kraut, mit fingerförmig zerteilten, rauhen Blättern, die unten gegenständig, in der Blütenregion wechselständig sind. Weibliche Blütenstände wie beim Hopfen, doch ist der dort unterdrückte Mitteltrieb hier zu einem laubigen Sproß ausgewachsen. Die Deckblättchen tragen nur je eine Blüte in der Achsel. In den Laubblattachseln des Mitteltriebes wiederholt sich

dasselbe und so kommt die dichtbuschige Inflorescenz des weiblichen Hanfes zu stande. Die Pflanze wird in Europa ihrer ein bis einige Centimeter langen Bastfasern wegen gebaut. Weibliche Blütenstände indischer Herkunft sind auf allen Teilen mit einer Menge von Drüsenhaaren bedeckt, die eine harzige, klebrige Masse absondern; sie werden für medizinische Zwecke benutzt, dienen im Orient zur Bereitung eines narkotisch wirkenden Genußmittels, „Haschisch".

Officinell: *Cannabis sativa* liefert Fructus Cannabis (Pharm. helv.); *Cannabis sativa* var. *indica* liefert Herba Cannabis indicae (Pharm. austr., helv.). — Die Drüsen der Zapfenschuppen von *Humulus Lupulus* sind als Lupulinum, s. Glandulae Lupuli (Pharm. austr., helv.), gebräuchlich, der ganze Zapfen als Strobilus Lupuli (Ph. helv.).

Fig. 538. Humulus Lupulus. *1* Männlicher Inflorescenzsproß, *2* weibliche Inflorescenz, *3* zwei weibliche Blüten in der Deckblattachsel, *4* Fruchtzäpfchen.

4. Familie ***Urticaceae.*** Perennierende Kräuter, seltener Sträucher. Blätter einfach. Nebenblätter vorhanden. Blüten durch Fehlschlag eingeschlechtig, meist zweizählig, also P 2 + 2, A 2 + 2. Staubblätter stehen vor den Perigonblättern, sie sind in der Knospenlage einwärts gekrümmt, schlagen beim Aufblühen elastisch zurück und verstäuben dabei ihren Pollen. Fruchtknoten aus einem Fruchtblatt, einfächerig mit einer grundständigen atropen Samenanlage. Perianth der weiblichen Blüten verwachsen. Blüten in Dichasien oder in dorsiventralen Inflorescenzen dicht gedrängt. Windblüher.

Eine Anzahl Urticaceen sind durch den Besitz von Brennhaaren (vgl. Fig. 115) ausgezeichnet, wie unsere Brennesseln *Urtica dioica* und *Urtica urens* oder die gefährlichen tropischen *Laportea*-Arten. Einige Urticaceen wichtige Faserpflanzen: *Boehmeria nivea*, Ramie, *Urtica cannabina*, in geringerem Grade auch die einheimischen *Urtica*-Arten.

4. Ordnung. Centrospermae.

Kräuter, seltener kleine Holzgewächse; bis auf wenige Ausnahmen mit Zwitterblüten nach der Drei- oder Fünfzahl gebaut. Perianth und Andröceum in einem oder zwei Kreisen. Fruchtknoten oberständig, einfächerig mit einer grundständigen oder mit mehreren, an einer freien centralen Placenta befestigten Samenanlagen.

1. Familie ***Polygonaceae.*** Meist perennierende Kräuter mit hohlen, knotig gegliederten Stengeln und einfachen wechselständigen Blättern. Ihre häutigen Nebenblätter sind zu einer die Stammknospe überziehenden Düte, Ochrea, verwachsen, die vom Stamme durchbrochen wird und als röhrenartiges Organ an der Internodiumbasis erhalten bleibt (Fig. 539). Die zwitterige Blüte ist typisch dreizählig, Gliederzahl jedoch im Perigon oder im Andröceum bisweilen erhöht. Drei Fruchtblätter bilden einen einfächerigen, oberständigen Fruchtknoten mit einer grundständigen atropen Samenanlage. Frucht fast immer ein dreikantiges Nüßchen.

Gattungen: *Rheum*, Rhabarber, Gattung aus Ostasien mit mächtigen grundständigen Blättern (Fig. 540) und aufstrebenden, sehr großen, rispigen Blütenständen. Blätter einfach, herz-nierenförmig, mit handförmiger Aderung, bisweilen mehr oder minder gelappt. Einzelblüten besitzen zwei Perigonkreise von gleichartiger Ausbildung, zwei Staubblattkreise, deren äußerer durch Spaltung verdoppelt ist, also: P 3 + 3, A 6 + 3, G (3). Große drüsige Discusschuppen deuten auf Insektenbesuch hin. Der dreikantige Fruchtknoten in der Reife dreiflügelig (Fig. 541). Rheumarten werden bei uns vielfach teils als Zierpflanzen, teils als Gemüse gebaut. *Rumex acetosa*, Sauerampfer, eine einheimische Gemüsepflanze mit spießförmigen Blättern. Blütenbau der zwitterigen *Rumex*-Arten wie bei *Rheum*, doch fehlt der innere Staubblattkreis. *Polygonum*-Arten mit gefärbtem fünfblättrigem Perigon und wechselnder Zahl im Andröceum, *Fagopyrum esculentum* liefert in seinen dreikantigen Früchten Buchweizen (Fig. 473).

Officinell: Rhizoma Rheï (fälschlich immer noch Radix Rheï genannt) von *Rheum officinale*, *Rh. palmatum* und wohl noch anderen.

Fig. 539. Blatt von Polygonum lapathifolium mit der Ochrea *st.* Verkl. (Nach DUCHARTRE.)

2. Familie ***Chenopodiaceae.*** Perennierende oder einjährige Kräuter, selten kleine Holzgewächse, mit wechselständigen Blättern. Blüten typisch fünfzählig mit einem Perigon- und Andröceumkreis: P 5, A 5, G (2—5). Reduktionen zu eingeschlechtigen Blüten nicht selten. Eine grundständige, campylotrope Samenanlage im einfächerigen Fruchtknoten. Frucht eine Nuß. Samen mit gekrümmtem Embryo, der das mehlige Perisperm rings umlagert.

Chenopodiaceen sind vielfach Bewohner des Meeresstrandes und überhaupt auf salzhaltigem Boden verbreitet, so in den großen asiatischen Salzsteppen und Wüsten. Neben dem als Gemüsepflanze zu erwähnenden Spinat, *Spinacia oleracea*, ist vor allem die Zuckerrübe (18), *Beta vulgaris* var. *Rapa* von Wichtigkeit (Fig. 542). Die Pflanze ist zweijährig. Im ersten Jahre bildet sie eine dick aufschwellende, fleischige Wurzel, die von der Knospe mit einer Anzahl saftiger, dickstieliger, ganzrandiger, doch oft etwas gekrauster Blätter gekrönt wird. Aus dieser Blattrosette treibt im zweiten Jahre ein reich verzweigter rispenförmiger Blütenstand hervor, mit unscheinbaren, grünlichen Einzelblüten reich besetzt. Fruchtknoten dreicarpellig. Am Schluß des ersten Jahres geerntet liefert die Wurzel „Rohrzucker", welcher die gespeicherte Reservenahrung darstellt. Durch stete Auswahl ist der Zuckergehalt von 7—8 % auf ca. 14 % durchschnittlich gebracht, steigt jedoch bis 21 %, ja 26 %. Die Stammpflanze der Zuckerrübe ist *Beta patula*. *Chenopodium*, *Atriplex*, häufige Unkräuter, in der Nähe menschlicher Wohnungen.

Officinell: *Beta vulgaris* var. *Rapa* liefert Saccharum (Pharm. germ., austr., helv.), *Chenopodium ambrosioides* (einjähriges Kraut aus dem tropischen Amerika, bei uns kultiviert): Herba Chenopodii (Pharm. austr.).

3. Familie ***Caryophyllaceae.*** Einjährige oder ausdauernde Kräuter,

Fig. 540. Rheum officinale. Stark verkleinert. (Nach BAILLON.)

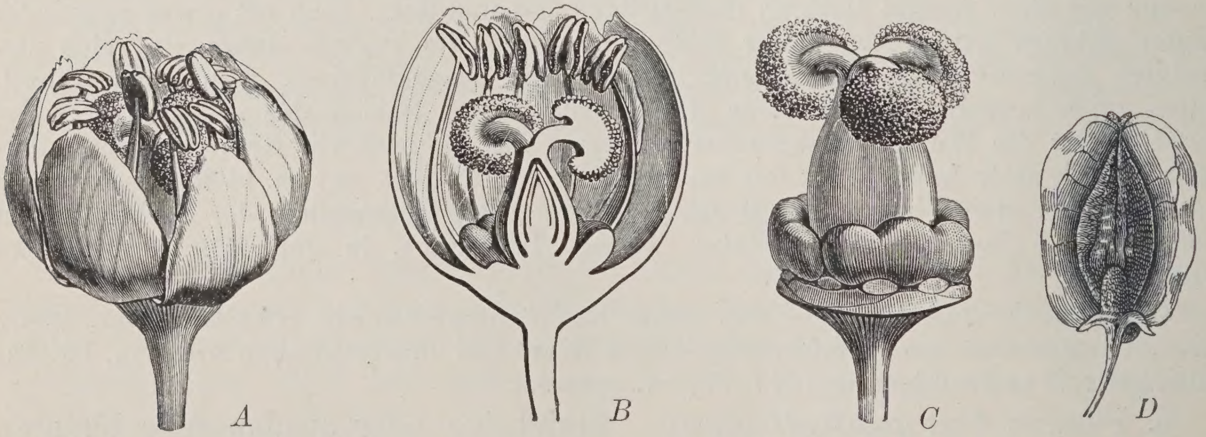


Fig. 541. Rheum officinale. *A* Blüte. *B* Blütenlängsschnitt. *C* Gynöceum mit Discus. *D* Rheum compactum, Frucht. Vergr. (Nach LÜRSSEN.)

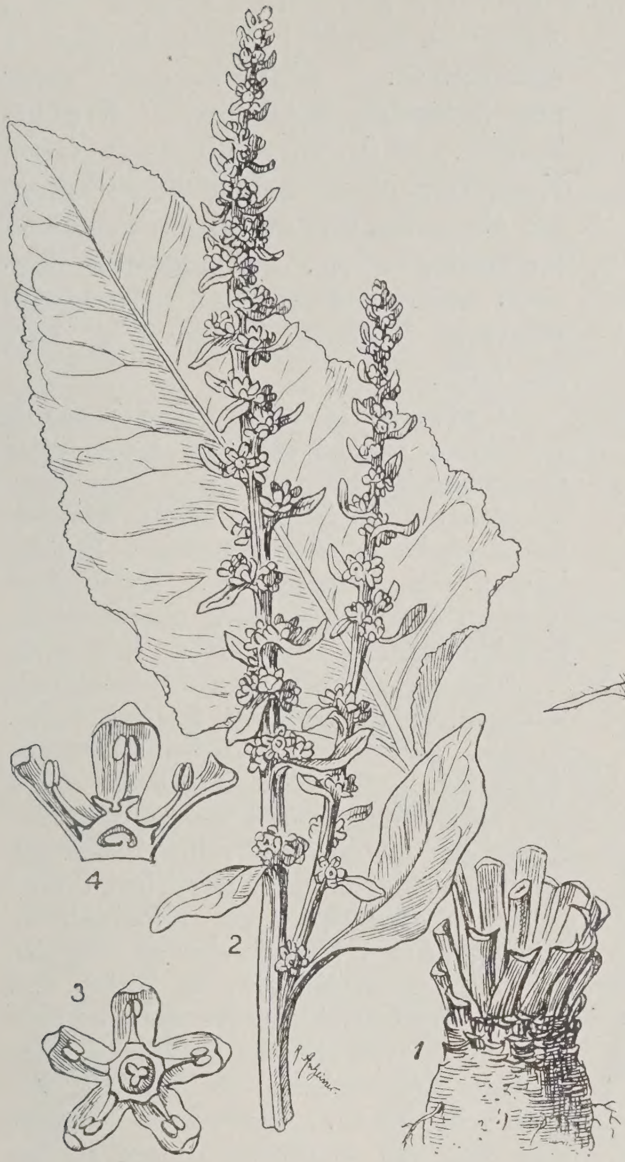


Fig. 542. Beta vulgaris. *1* Wurzel und Blattrosette (Spreiten entfernt), verkl., *2* Inflorescenzzweig, $^1/_2$ nat. Gr., *3* Einzelblüte, *4* Blütenlängsschnitt, *3* und *4* vergr. — Officinell.

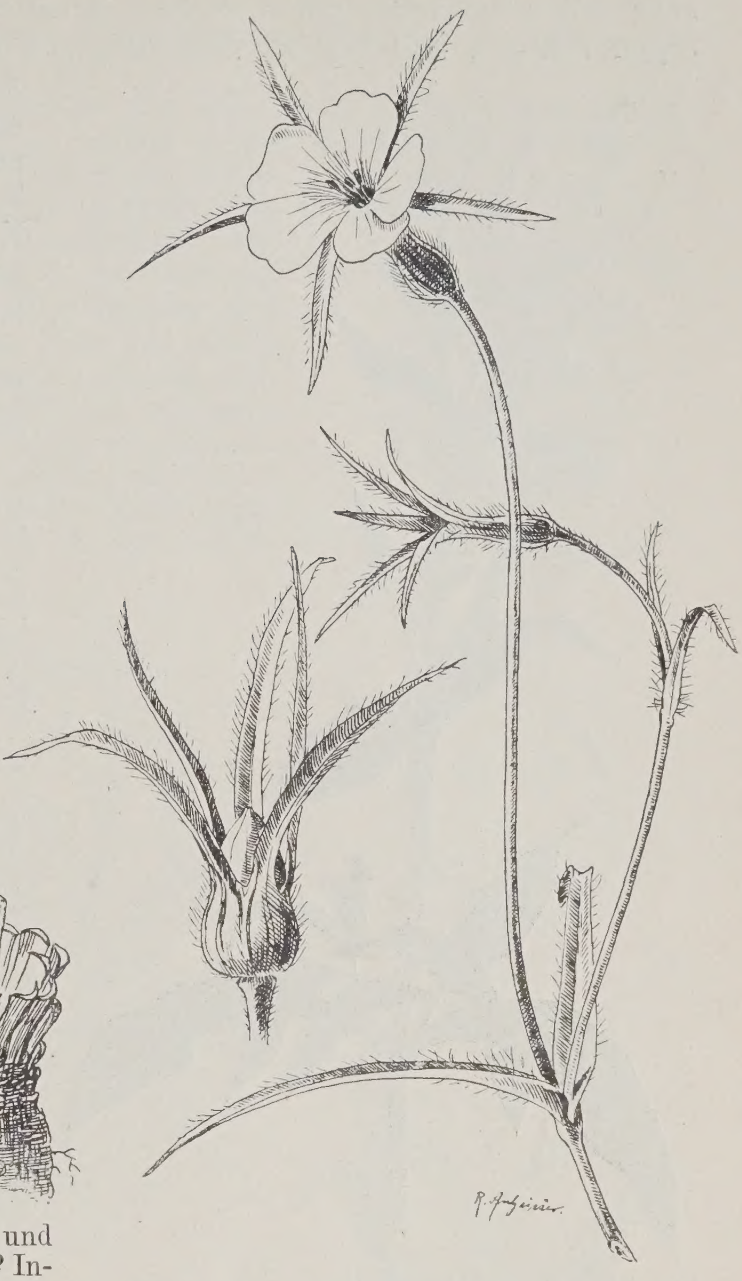


Fig. 544. Agrostemma Githago. Blühender Zweig und Frucht. $^1/_2$ nat. Gr. — Giftig.

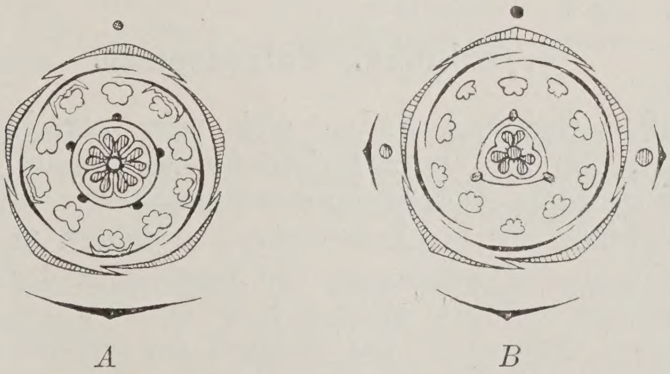


Fig. 543. Diagramme von Caryophyllaceen. *A* Viscaria, Scheidewände im unteren Teile des Fruchtknotens vorhanden. *B* Silene, Scheidewände fehlen. (Nach EICHLER.)

sehr selten Sträucher mit einfachen, lineal-länglichen, in der Regel gegenständigen Blättern und typisch fünfzähligen Blüten mit Kelch und Krone. Zwei Andröceumkreise in obdiplostemoner Anordnung. Einfächeriger oder unvollständig gefächerter Fruchtknoten. K5, C5, A5 + 5. G(5). Kapselfrüchte mit zahlreichen Samen, die einen um das mehlige Perisperm herumliegenden, gekrümmten Embryo umschließen. Bei reduzierten Formen Nußfrüchtchen (Fig. 543 bis 545).

Fig. 545. Saponaria officinalis. 1/2 nat. Gr. — Giftig.

Unterfamilien und Gattungen: 1. *Alsineae.* Kelch freiblättrig, Kronblätter kurzgenagelt, Kapselfrucht. *Cerastium, Spergula* mit fünfzähligen Blüten, *Stellaria* und *Arenaria* mit dreicarpelligem Fruchtknoten. 2. *Paronychieae.* Kelch freiblättrig, Krone fehlt oder unansehnlich, Früchte nußartig. *Scleranthus, Herniaria.* 3. *Sileneae.* Kelch verwachsenblättrig, Kronblätter lang genagelt. Kapselfrüchte. *Lychnis, Agrostemma* mit 5 Fruchtblättern. *Silene* mit 3, *Dianthus, Saponaria* mit 2 Fruchtblättern. *Cerastium-* und *Stellaria-*Arten gehören zu dem Frühjahrsschmuck unserer Wälder mit ihren zierlichen weißen Blüten und gespaltenen Kronblättern. *Dianthus-*Arten, Nelken, sind an Wegrändern, sonnigen Hügeln, im Mittel- und Hochgebirge durch ihre leuchtenden Farben oder ihren Geruch auffallend. Als häufiges Ackerunkraut ist die filzig behaarte Kornrade, *Agrostemma Githago* (Fig. 544), mit blaßroten Blüten zu beachten. Da ihre Samen giftig sind, ist eine erhebliche Beimengung im Getreide nicht unbedenklich. *Saponaria officinalis*, besonders auf Flußbänken usw. als meterhohes Kraut mit gegenständigen breiten Blättern verbreitet, an ihren ebensträußigen rosa Blüten leicht zu erkennen. Die ganze Pflanze ist saponinhaltig und darum giftig (Fig. 545).

Officinell: Herba Herniariae (Ph. austr.) von *Herniaria glabra* und *H. hirsuta.*

5. Ordnung. Polycarpicae.

In dieser großen Ordnung finden sich sehr verschieden erscheinende Familien vereinigt, die als charakteristische Merkmale freie oberständige Fruchtblätter und spiralige Anordnung der Blütenkreise zeigen. Damit pflegt eine erhebliche Vermehrung im Andröceum verbunden zu sein.

Doch ist zu beachten, daß keineswegs alle Angehörigen der hier einzuordnenden Familien diese Eigentümlichkeiten in gleichem Maße besitzen, daß sie sogar vollständig fehlen können, während dennoch die Zugehörigkeit der betreffenden Gattungen durch Zwischenglieder über jeden Zweifel sichergestellt ist.

1. Familie ***Nymphaeaceae*** (19). Wasserpflanzen mit untergetauchten und schwimmenden Blättern, letztere oft von riesiger Größe. Wo beide Blattformen vorhanden, findet sich

mehr oder minder auffallende Heterophyllie. Zwitterblüte mit Kelch und Krone. 3 (selten), 4 oder mehr bis vielblättrig in allen Kreisen. Fruchtblätter bisweilen frei; Stellung der Blütenglieder vielfach spiralig (Fig. 546—548).

Nymphaea alba, unsere heimische Seerose (Fig. 546), breitet zwischen ihren großen schwimmenden Blättern die weißen, von starken grünen Kelchblättern geschützten Blüten aus, deren Grund von einem vielzähligen Kranz leuchtend gelber Staubblätter und dem verwachsenblättrigen, ebenfalls vielzähligen, unterständigen Fruchtknoten eingenommen wird. Spiralige Anordnung ist für Perianth und Andröceum an dem entblätterten Fruchtknoten und aus dem Diagramm ersichtlich (Fig. 547). Figur 548 ist der amerikanischen Gattung *Cabomba* entnommen, welche dreizählige Blüten mit freien Fruchtblättern besitzt und sich durch untergetauchte, vielfach zerteilte Blätter neben den ganzrandigen Schwimmblättern auszeichnet. Ebenfalls freie Fruchtblätter eignen der Gattung *Nelumbium*, deren schildförmiges Laub sich gleich den Blüten über das Wasser erhebt.

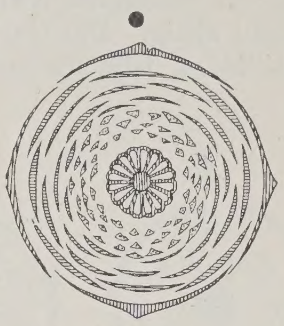


Fig. 547. Nymphaea. Diagramm.

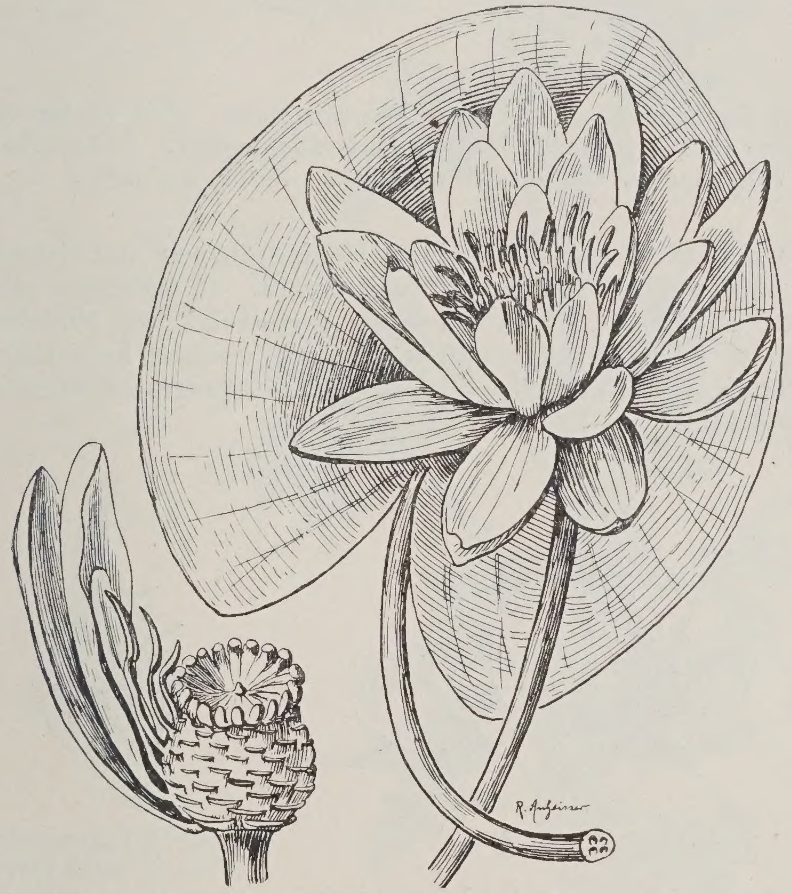


Fig. 546. Nymphaea alba. $^1/_2$ nat. Gr. Der entblätterte Fruchtknoten läßt die spiralige Stellung der Staubblätter und Kronblätter erkennen.

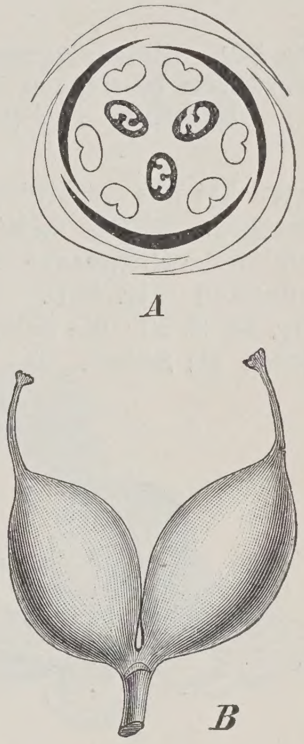


Fig. 548. *A* Diagramm, *B* Frucht von Cabomba aquatica (nach Baillon). Vergr. 4. Zwei Fruchtblätter zu Teilfrüchtchen entwickelt.

Victoria regia und *Euryale ferox* ihrer Riesenschwimmblätter wegen bekannte, in unseren Warmhäusern viel kultivierte Gewächse, diese der asiatischen Tropen, jene des Amazonas.

Hier anzuschließen wäre die Familie der ***Ceratophyllaceae,*** deren einzige Gattung *Ceratophyllum* untergetauchte, oft massenhaft auftretende Wasserpflanzen enthält.

2. Familie ***Ranunculaceae***([20]). Kräuter oder seltener Holzgewächse mit wechselständigen Blättern. Nebenblätter fehlen. Zwitterblüten, deren Blattorgane vielfach spiralig angeordnet sind. Perianth einfach oder doppelt, perigonartig oder in Kelch und Krone gesondert. Andröceum vielgliedrig. Pollenkörner mit mindestens 3 Austrittstellen. Fruchtblätter oberständig,

frei auf der gewölbten Blütenachse zu 3 bis vielen beisammen. Samenanlagen an der Bauchnaht einzeln oder in Mehrzahl. Früchtchen der Sammelfrucht Balgfrüchte, Nüßchen oder Beeren. Samen mit kleinem Embryo im großen ölhaltigen Endosperm (Fig. 549—559).

Wichtige einheimische Gattungen: Die Ranunculaceen liefern zahlreiche unserer häufigsten Wald- und Wiesenpflanzen. Sie sind alle in mehr oder minder hohem Grade giftig. Die Gattung *Ranunculus* selbst, an ihren meist gelben Blüten und hochgewölbten Blütenachsen mit zahlreichen einzelnen Nüßchen kenntlich, ist in vielen

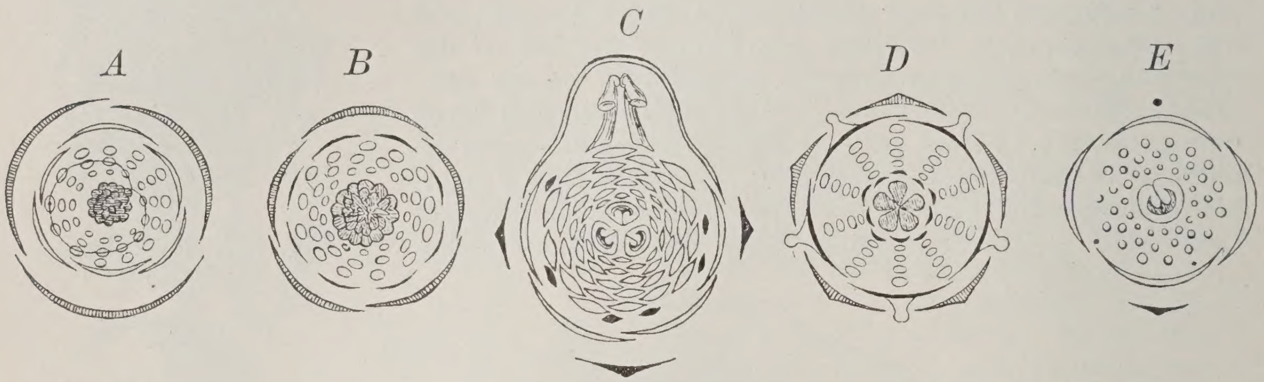


Fig. 549. Blütendiagramme von Ranunculaceen. *A* Anemone nemorosa. (Die Linien mi Andröceum bezeichnen die Fünfer- und Achterzeilen.) *B* Adonis autumnalis. *C* Aconitum Napellus. *D* Aquilegia vulgaris. *E* Cimicifuga racemosa. (Nach Eichler.)

Arten bei uns verbreitet. Ihre Kronblätter sind mit einem Honiggrübchen am Grunde versehen. Blätter meist mehr oder weniger tief fingerförmig geteilt. *R. sceleratus*, eine gefährliche Giftpflanze (Fig. 552), *R. arvensis*, durch die Größe der stachlichten Nüßchen auffallend (Fig. 551). Im Wasser lebende *R.*-Arten (*Batrachium*) vielfach heterophyll (Fig. 34, S. 26); die Schwimmblätter dienen den sich über den Wasserspiegel erhebenden Blüten als Stütze.

Fig. 550. *a* Blüte von Ranunculus sceleratus. *b* Im Längsschnitt, vergr. (Nach Baillon.)

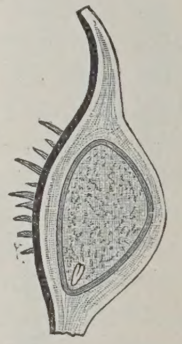


Fig. 551. Ranunculus arvensis (nach Baillon). Fruchtblatt im Längsschnitt, vergr.

Gleich *Ranunculus* sind auch *Anemone*-Arten in Deutschland weit verbreitet. In allen Laubwäldern bildet *Anemone nemorosa* mit den ersten Schmuck des Waldbodens im Frühjahre. Die Pflanze besitzt ein flach im Boden kriechendes Rhizom, das mit einer terminalen Blüte abschließt und durch einen Seitensproß fortgesetzt wird. Perianth der Blüte einfach, kronartig gefärbt; doch kommt allen Anemonen ein mehr oder minder tief darunter sitzender, meist dreiblättriger Wirtel von grünen Hüllblättern zu (Fig. 553), der bei *A. Hepatica*, Leberblume, unmittelbar an das Perianth heranrückt und dadurch einem Kelche ähnlich sieht. Alle Arten etwas giftig, besonders *A. Pulsatilla*, Küchenschelle. Viele *Anemonen* beliebte Zierpflanzen, die im Winter besonders an der Riviera in großen Massen kultiviert als Schnittblumen zu uns gelangen. Gattung *Clematis*, meist Sträucher, stellt in *Cl. Vitalba* eine der wenigen einheimischen Lianen, welche freilich meist

in ihren Dimensionen kaum an die tropischen Gewächse gleicher Lebensweise erinnert. Gattung liefert zahlreiche Zierpflanzen; sie weicht durch gegenständige Blätter von allen übrigen *R.* ab. *Clematis*-Arten und viele *Anemonen* versehen ihre kleinen Nüßchen

Fig. 552. Ranunculus sceleratus. $1/2$ nat. Gr. — Giftig.

mit Haar- oder Federanhängen, welche die Verbreitung durch den Wind erleichtern. Besondere Länge erreicht die Blütenachse bei dem kleinen Mäuseschwanz, *Myosurus*; hier ist daher die spiralige Anordnung der kleinen Nüßchen besonders auffallend. *Tha-*

lictrum mit großen und farbigen Staubblättern, hinfälligem Perianth. *Caltha palustris* (Fig. 554), einer der stattlichsten Frühjahrsblüher unserer feuchten Wiesen, als Butterblume bekannt. Perianth einfach, intensiv gelb. Blätter herz- oder nierenförmig, kurz-

Fig. 553. Anemone Pulsatilla. $^1/_2$ nat. Gr. — Giftig.

gestielt mit aufgerichteter Blattscheide. Balgfrüchtchen. *Helleborus foetidus* mit tief fingerförmig geteilten derben Blättern (Fig. 555). Der stattliche Blütenstand treibt bereits im Januar oder Februar aus den Achseln breitscheidiger, dreizipfeliger Deckblätter seine grünlichen Blüten, die vollkommen spiralig gebaut sind. Fünf große Kelch-

blätter bleiben bis zur Fruchtreife erhalten. Kronblätter (meist 13) in Form röhrig-zweilippiger Nektarien. Zahlreiche Staubblätter, 3—5 freie Fruchtblätter, die sich zu Balgfrüchtchen entwickeln. *Helleborus niger* aus den südöstlichen Alpen, häufig in Kultur, blüht im Herbst und Winter. *Helleborus viridis*; alle drei giftig. Der Eisenhut, *Aconitum Napellus* (Fig. 556, 557), stattliches, mit jährlich sich erneuernden Knollen ausdauerndes Kraut, besonders auf Gebirgswiesen häufig. Blätter handförmig geteilt, die einzelnen Zipfel tief fiederspaltig eingeschnitten, nach oben an Größe abnehmend. Blütenstand dicht traubig, aus den oberen Blattachseln durch Seiten-Inflorescenzen bereichert. Einzelblüte dorsiventral. Eines der fünf dunkelblauen Kelchblätter helmförmig emporgewölbt, birgt zwei langgestielte, röhrig-zweilippige Nektarien, die auch hier Kronblättern entsprechen. Übrige Kronblätter fehlen oder sind zu unscheinbaren Fädchen verkümmert; giftig und officinell. *Aconitum Lycoctonum* (Fig. 558) mit kleineren gelben Blüten desselben Baues. *A. Stoerckianum* und *A. variegatum* dem *A. Napellus* ähnlich, doch mit hellerer Färbung; alle giftig. *Aquilegia*, *Delphinium* und *Paeonia* liefern beliebte Zierpflanzen mit lebhaft gefärbten, z. T. eigenartig geformten Blüten. *Actaea* mit Beerenfrüchten.

Fig. 555. Helleborus foetidus. $^1/_8$ nat. Gr. — Giftig.

Fig. 554. Caltha palustris. $^2/_3$ nat. Gr. — Giftig.

Officinell: Tubera Aconiti von *Aconitum Napellus* (Pharm. germ., austr., helv.). Folia Aconiti von derselben Pflanze (Pharm. helv.). Rhizoma Hydrastis (Pharm. germ., austr., helv.) von der nordamerikanischen Pflanze *Hydrastis canadensis* (Fig. 559), einem ausdauernden Kraute, das jedes Jahr seine mit scharf gekielten, zweizeilig stehenden Niederblättern beginnenden Zweige über die Erde emporsendet. Blüten einzeln, gipfelständig auf den zweiblättrigen Sprossen. Das einfache weiße Perianth fällt nach Öffnung ab. Andröceum und freies Gynöceum vielgliedrig. Sammelfrucht aus zahlreichen kleinen Beeren mit je 1—2 Samen. Aus dem Rhizom wird Hydrastin dargestellt.

Fig. 557. Aconitum Napellus, nat. Gr. *1* Einzelblüte von vorn, *2* Einzelblüte längsdurchschnitten, *3* die zu Nektarien umgebildeten Kronblätter und das Andröceum nach Entfernung des Perigons, *4* Frucht aus drei apokarpen Fruchtblättern, *5* Frucht aufgesprungen.

Fig. 556. Aconitum Napellus. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell und giftig.

Fig. 558. Aconitum Lycoctonum. $^1/_2$ nat. Gr. — Giftig.

Fig. 559. Hydrastis canadensis. $^1/_2$ nat. Gr. Apokarpe Sammelfrucht daneben. — Officinell.

Fig. 560. Myristica fragrans. *1* Blühender männlicher Zweig, $^1/_2$ nat. Gr. *2* Reife Frucht hängend, aufgesprungen. *3* Dieselbe Frucht nach Entfernung der halben Fruchtschale, zeigt den dunkelbraunen Samen vom durchbrochenen Arillus umhüllt. *4* Samenkern (Droge) von der Samenschale befreit. — Officinell.

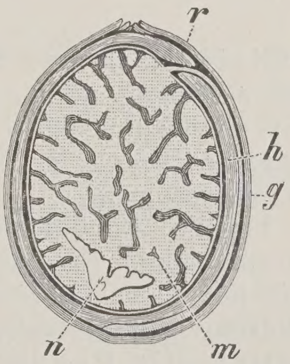


Fig. 561. Myristica fragrans. Samen, der Länge nach durchschnitten. *g* Arillus, *h* äußeres Integument, oben bei *r* durch die Raphe durchbrochen *m* ruminiertes Nährgewebe, *n* Keim. Nat. Gr. (Nach BERG und SCHMIDT.) — Officinell.

3. Familie ***Magnoliaceae.*** Holzgewächse des gemäßigten und tropischen Amerika und Asien mit wechselständigen Blättern; meist mit Nebenblättern, welche die Knospen umhüllen. Blüten und Früchte wie *Ranunculaceen*, jedoch Pollenkörner mit einer Austrittstelle. Ölzellen in Blatt und Stamm. *Magnolia*-Arten ihrer prächtigen Blüten wegen bei uns und im Mittelmeergebiet vielfach kultiviert. *Liriodendron*, Tulpenbaum (Nordamerika).

Officinell: Fructus anisi stellati: Sternanis (Pharm. austr., helv.), von *Illicium anisatum* (China). Früchte von *Illicium religiosum* (Japan) giftig.

4. Familie ***Anonaceae.*** Meist tropische Holzgewächse Asiens und Amerikas. K 3, C 3 + 3, sonst wie vorige, Samen mit ruminiertem Endosperm. *Anona*-Arten geben saftige Früchte, *Cananga odorata* Parfüm.

5. Familie ***Myristicaceae***(21). Tropische Holzgewächse mit diöcischer Blütenverteilung. *Myristica fragrans* (Fig. 560, 561). Männliche wie weibliche Blüten mit einfachem dreizähligem Perianth äußerlich einander sehr ähnlich, etwa einem Maiglöckchen gleichend. Männliche mit centraler Säule, der 3—15 Antheren rings angewachsen sind, weibliche mit 1 Samenanlage im einzigen Fruchtblatt. Frucht beerenartig, grob fleischig, aber aufspringend; Samen mit ruminiertem Endosperm und Arillus.

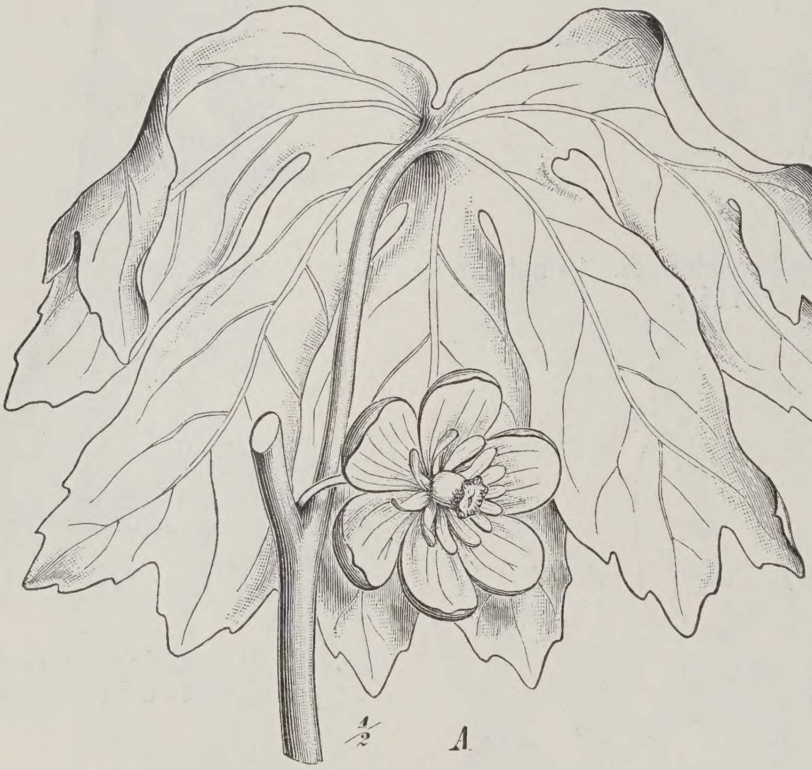


Fig. 562. Podophyllum peltatum. $^1/_2$ nat. Gr. Aus Natürl. Pflanzenfamilien III_2. — Officinell.

Officinell: Semen Myristicae, Muskatnuß, Samenkerne von *Myristica fragrans* (Molukken) (Pharm. germ., austr., helv.). Oleum Nucistae, das ausgepreßte Gemenge von Fett und Öl (ibidem), Oleum Macidis, ätherisches Öl aus Samen und Arillus (Pharm. germ., austr., helv.), Macis, der getrocknete gelbe (in frischem Zustande hochrote) Arillus (Pharm. austr.).

6. Familie ***Berberidaceae.*** Blüten aus einer verschiedenen Zahl dreizähliger Kreise aufgebaut. Fruchtblatt stets einzeln. K 3 + 3, C 3 + 3, A 3 + 3, G $\underline{1}$. *Berberis vulgaris* mit Dornblättern an den Langtrieben, Kurztriebe mit ungeteilten Blättern und endständigen Blütentrauben. Einzelblüten mit reizbaren Staubblättern (vgl. S. 242).

Officinell: Podophyllinum (Pharm. germ., helv.) von *Podophyllum peltatum*, einer Staude aus Nordamerika mit endständiger Blüte und schildförmigen, großen, fingerförmig zerteilten Blättern (Fig. 562).

7. Familie ***Menispermaceae.*** Wie vorige, aber G 3. Meist tropische Schlinggewächse.

Officinell: Radix Colombo (Pharm. germ., austr., helv.) von *Jatrorrhiza palmata* (Fig. 563); portugiesisch Ostafrika.

8. Familie ***Lauraceae.*** Aromatische Bäume oder Sträucher mit ganzrandigen ledrigen Blättern von meist mehrjähriger Dauer. (Ausnahme *Sassafras* mit dreilappigen Blättern neben einfachen, wirft das Laub jedes Jahr ab.) Nebenblätter fehlen. Blüten unscheinbar, in rispenartigen Inflorescenzen vereinigt. Sie sind strahlig, mit dreizähligen Kreisen. Andröceum in vier Wirteln, deren einzelne häufig staminodial sind oder fehlen. Antheren öffnen sich klappig. Filamente z. T. mit Drüsen an den Seiten.

Fig. 563. Jatrorrhiza palmata. 1/2 nat. Gr. (Nach BERG und SCHMIDT.) — Officinell.

Fruchtblätter 3, zu einfächerigem Fruchtknoten verwachsen. 1 hängende Samenanlage. Frucht beerenförmig oder Steinfrucht. Endosperm fehlt. Also: P 3 + 3, A 3 + 3 + 3 + 3, G $\underline{(3)}$ (Fig. 564—567).

Wichtigste Gattungen und Arten[22]. *Laurus nobilis*, der Lorbeer, diöcischer immergrüner Baum der Mittelmeerländer (Fig. 566), welcher in der griechischen Sagengeschichte bereits eine bedeutende Rolle spielt; bei uns vielfach als Kalthauspflanze kultiviert. Größere Pflanzungen zur Ölgewinnung finden sich am Gardasee, wo der Baum im Oktober seine länglich-ovalen, schwarzblauen Steinfrüchte reift. Eine stärkere Achsenschwellung gerade unter dem Fruchtansatz ist charakteristisch. *Cinnamomum* umfaßt eine Anzahl wichtiger Nutzbäume, so den japanisch-chinesischen Kampherbaum (Fig. 567), den chinesischen und den Ceylon-Zimtbaum, stattliche immergrüne Bäume

mit ledrig-glänzenden Blättern, aber unansehnlichen grünlichen Blüten in blattachselständigen Inflorescenzen. *Persea gratissima*, Baum des tropischen Mexiko, als Obstbaum der Tropen häufig kultiviert, liefert die Aguacate oder Avocatobirne in seinen wohlschmeckenden Früchten. *Cassytha*-Arten, einzige Gattung mit krautigen Vertretern; überall in den Tropen häufige, *Cuscuta*-ähnliche Parasiten.

Fig. 564. Blütendiagramm von Persea. (Nach EICHLER.)

Officinell: Fructus Lauri (Ph. germ., austr.) und Oleum Lauri (Ph. germ., austr., helv.) von *L. nobilis*. Camphora, Kampher (Ph. germ., austr., helv.), von *Cinnamomum Camphora*. Cortex Cinnamomi, Zimtkassie und Oleum Cinnamomi s. Cassiae (Ph. germ., austr., helv.) von *Cinnamomum Cassia*. Cort. Cinnamomi Zeylanici, Ceylon-Zimt (Pharm. helv.), von *C. Zeylanicum*. Lignum Sassafras (Pharm. germ., austr.), Cort. Sassafras (Pharm. helv.) von *Sassafras officinale*, einem diöcischen Baum Nordamerikas.

Fig. 565. Sassafras officinale. (Nach BERG und SCHMIDT.) $^1/_2$ nat. Gr. *1* Männliche Inflorescenzen an noch unbelaubtem Zweig. *2* Früchte am beblätterten Zweig. *3* Männliche Blüte. *4* Weibliche Blüte. *5*, *6* Geschlossene Staubblätter der beiden äußeren Kreise. *7* Geöffnetes Staubblatt des innersten Wirtels. *8* Fruchtknoten mit Griffel und Samenanlage. — Officinell.

Fig. 566a. Laurus nobilis mit männlichen Blüten. $^{1}/_{2}$ nat. Gr. — Officinell.

Fig. 566b. Laurus nobilis mit Früchten. $^{1}/_{2}$ nat. Gr. Officinell.

Fig. 567. Cinnamomum Camphora. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell.

6. Ordnung. Rhoeadinae.

Kräuter, seltener Sträucher mit wechselständigen Blättern ohne Nebenblätter. Blüten zwitterig, quirlig. Quirle meist zweigliederig. Oberständiger Fruchtknoten, einfächerig; Placenten an den mehr oder minder weit einspringenden verwachsenen Rändern der Fruchtblätter. Narben ebenfalls kommissural, also über den Nähten der Fruchtblätter. Fruchtöffnung durch Abspringen der Fruchtblattmittelstücke von den stehenbleibenden Placenten.

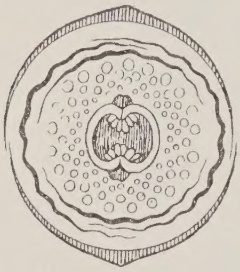


Fig. 568. Blütendiagramm von Glaucium. (Nach EICHLER.)

1. Familie ***Papaveraceae.*** Kräuter mit Milchsaft. Blätter meist fiederschnittig. Blüten radiär von der Formel: $K\,2, C\,2+2, A\,\infty, G(\underline{2})$ oder $(\underline{\infty})$. Samen mit Endosperm (Fig. 568).

Zahl der Staubblätter ist unbestimmt, meist auch ihre Stellung. Bei den Gattungen *Chelidonium*, *Glaucium*, *Escholtzia* finden sich zwei Fruchtblätter, bei *Papaver*, *Argemone Meconopsis* mehr, 14—16.

Wichtige einheimische Gattungen: *Chelidonium majus*, Schöllkraut, mit gelbem Milchsaft und zweicarpelligem Fruchtknoten. Als Zierpflanzen dienen verschiedene

Arten von *Escholtzia*, *Argemone* und *Papaver*. *Papaver Rhoeas*, Mohn, als Unkraut in Kornfeldern oder auf trockenen Wiesen verbreitet (Fig. 569). Alle Teile rauh borstig behaart, Blätter schmal, fiederschnittig. Charakteristisch für alle Papaverarten ist die scharf abwärtsgekrümmte Lage der gipfelständigen Blütenknospen. Nachdem jedoch der zweiblättrige Kelch abgeworfen, entfaltet und glättet sich die geknitterte, sehr hinfällige, vierblättrige Krone und die Blüte richtet sich auf. *Papaver somniferum*, aus dem Orient stammend, ist in allen Teilen reich an weißem Milchsafte. Pflanze blau bereift und völlig glatt, nur der Blütenstiel mit vereinzelten groben Borsten besetzt. Blätter sitzend, am Rande unregelmäßig gesägt bis gekerbt. Blumenkrone violett oder weiß mit dunklen Flecken am Grunde. Fruchtknoten einfächerig, von zahlreichen, tief einschneidenden Placenten unvollständig gefächert; er verharrt steil aufgerichtet. Das Abspringen der Fruchtblattmittelstücke von den Placenten bei der Kapselöffnung bleibt bei *Papaver* auf ihre Spitzen beschränkt; diese biegen sich unter dem überstehenden flachen narbentragenden Deckel weg nach außen; die nierenförmigen Samen werden aus den Löchern herausgeschleudert, sobald die gipfelständige Kapsel auf ihrem schwanken Stiele vom Winde bewegt wird.

Officinell: Semen Papaveris (Pharm. germ., helv.), Oleum Papaveris (Pharm. germ.), Fructus Papaveris immaturi (Pharm. germ., austr., helv.), Opium (aus dem Milchsafte) (ibidem), Morphium (ibid.), alles von *Papaver somniferum*. Flores Rhoeados (Pharm. austr., helv.) von *Papaver Rhoeas*.

Fig. 569. Papaver Rhoeas. 1/2 nat. Gr. — Officinell.

2. Familie ***Fumariaceae***. Kahle Kräuter ohne Milchsaft mit zwei- bis dreifach fiederschnittigen Blättern. Blüten in allen Kreisen zweizählig, Corolle doppelt, also K 2, C 2 + 2, A 2, G (2). Die äußeren Kronblätter, oder eines von ihnen gespornt; im letzteren Falle Blüte transversal dorsiventral (Fig. 570 u. 571). Innerer Staubblattkreis unterdrückt, äußerer in jedem Gliede dreispaltig, besteht aus einer mittleren dithecischen, zwei seitlichen monothecischen Antheren auf gemeinsamem Filament. Bei *Hypecoum* jedoch vereinigen sich die seitlichen paarweise und bilden scheinbar den inneren Staubblattkreis, an dessen Stelle sie rücken. Die quer-dorsiventralen Blüten der einspornigen Fumariaceen sind der einzige Fall dieser Symmetrie. Früchte bei Fumaria Nüßchen, bei *Corydalis* Kapseln, ebenso bei *Dicentra spectabilis*, einer häufigen Zierpflanze mit zweisporniger, bisymmetrischer Krone. Samen mit Endosperm.

3. Familie ***Cruciferae***[23]. Kräuter ohne Milchsaft, ein- bis zweijährig oder perennierend. Blätter wechselständig. Blütenstände traubig, meist ohne Deckblätter oder Vorblätter. Einzelblüten strahlig, stets seitlichen Ursprungs, Quirle zweizählig: K 2 + 2, C 2 + 2, A 2 + 4, G (2). Kelch beginnt mit einem median stehenden Wirtel, vier Kronblätter alternieren mit dem Kelche. Zwei äußere Staubblätter kürzer als die vier (resp. zwei bis auf den Grund

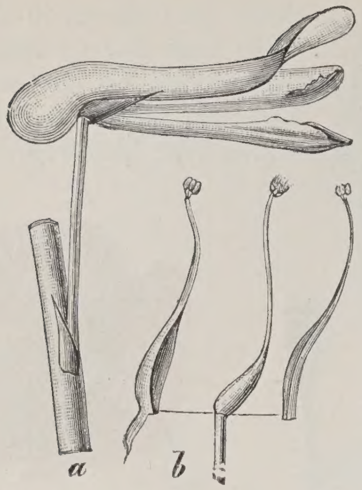


Fig. 570. Corydalis aurea. Vergr. 2. *a* Stück der Traubenachse mit Blüte, *b* Griffel und Staubblätter.

Fig. 571. Diagramm von Corydalis cava (nach EICHLER); am Grunde des Staubblattes, über dem Sporn, eine Nektardrüse.

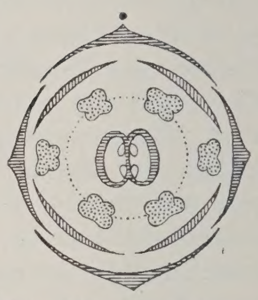


Fig. 572. Cruciferae. Diagramm (Brassica).

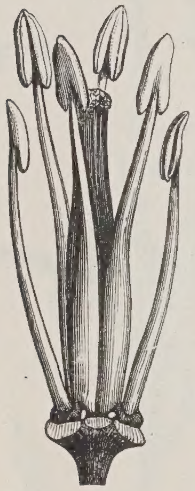


Fig. 573. Cardamine pratensis. Blüte ohne Perianth. Vergr. 4. (Nach BAILLON.)

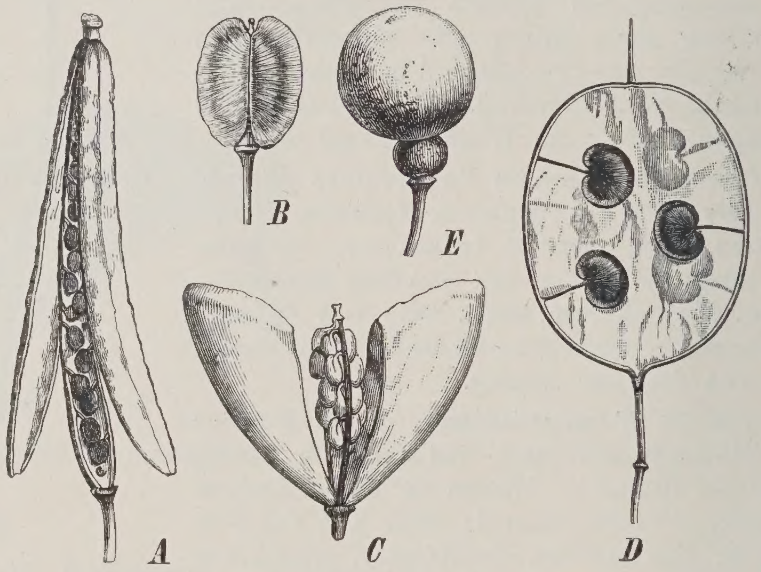


Fig. 574. Cruciferenfrüchte. *A* Cheiranthus Cheiri, *B* Lepidium sativum, *C* Capsella Bursa pastoris, *D* Lunaria biennis, falsche Scheidewand nach Abfall der Klappen, *E* Crambe maritima. (Nach BAILLON.)

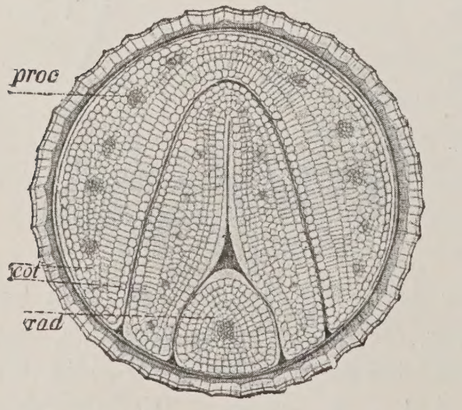


Fig. 575. Querschnitt durch den Samen des schwarzen Senfs, Brassica nigra. *rad* Radicula. *cot* Kotyledonen. *proc* Gefäßbündelanlagen. (Nach MÖLLER.)

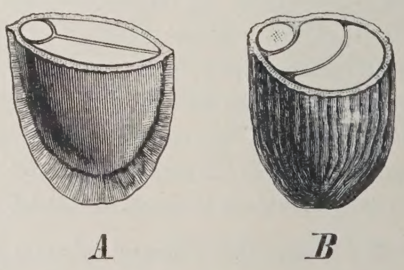


Fig. 576. Cruciferensamen, quer durchschnitten, Würzelchen und Keimblätter in verschiedener Lagerung sichtbar. *A* Cheiranthus Cheiri. Vergr. 8. *B* Sisymbrium Alliaria. Vergr. 7. (Nach BAILLON.)

gespaltenen) inneren medianen. Fruchtblätter bilden einen oberständigen, meist schotenförmigen Fruchtknoten, der durch eine falsche, zwischen den parietalen Placenten ausgespannte Scheidewand zweifächerig wird und sich durch Abheben der Fruchtblattmittelstücke klappig öffnet; Samen bleiben dabei mit der falschen Scheidewand und den Placenten am Tragstiele erhalten. Seltener Schließfrüchte. Endosperm fehlt, Keimling gekrümmt (Fig. 572—578).

Fig. 577. Cochlearia officinalis. (Nach BAILLON.) — Officinell.

Fig. 578. Brassica nigra. ½ nat. Gr. — Officinell.

Form der Früchte, Lagerung des Embryo innerhalb der Samenschale sind zur Einteilung der äußerst gleichförmigen Familie verwertet worden. Unter Hinweis auf eine neuere, von PRANTL in den Natürl. Pflanzenfamilien gegebene natürlichere Einteilung nach verschiedenen Organen mag hier die übersichtlichere älteste, von LINNÉ herrührende, angeführt werden. Sie unterscheidet zunächst *Siliquosae*, Schotenfrüchtige und *Siliculosae*, Schötchenfrüchtige; beide Gruppen werden ferner zerlegt in *Siliquosae dehiscentes*, mit normalen Schoten, *Siliquosae lomentaceae*, mit Gliederschoten, *Siliculosae dehiscentes* mit Schötchen, und *Siliculosae nucamentaceae* mit Schließfrüchten. Die Siliculosae dehiscentes sind später von A. P. DE CANDOLLE in *S. latiseptae* mit breiter, und in *S. angustiseptae* mit schmaler Scheidewand eingeteilt.

Die Cruciferen sind nach Häufigkeit und Artenzahl jedenfalls den wichtigeren heimischen Familien beizuzählen; sie beleben mit ihren gefärbten — hauptsächlich gelben — Blüten die verschiedensten Standorte zu allen Jahreszeiten. Am Grunde der Staubblätter aus der Blütenachse hervorgehende Honigdrüsen deuten auf Insektenbestäubung hin. Zahlreiche Nutzpflanzen gehören der Familie an: 1. *Siliquosae dehiscentes: Cheiranthus Cheiri* (Fig. 574 *A* u. 576 *A*). Goldlack. *Matthiola,* Levkoje. *Brassica,* in zahlreichen Arten seit alters her kultiviert. *Brassica oleracea*, Kohl in seinen verschiedenen Formen: a) *silvestris,* der nordeuropäischen Küsten, als wilde Form anzusehen, b) *acephala,* Blätterkohl, c) *gongylodes,* Kohlrübe, d) *gemmifera,* Rosenkohl, e) *sabauda,* Wirsing, f) *capitata,* Kopfkohl, g) *Botrytis,* Blumenkohl. *Brassica campestris*, Rübsen mit den Kulturformen: a) *annua*, Sommerrübsen, b) *oleïfera*, Winterrübsen, c) *rapifera*, Teltowerrübchen. *Br. Napus,* Raps: a) *annua,* Sommerraps, b) *oleïfera*. Winterraps, c) *Napobrassica,* Wruke. *Brassica nigra,* Senf (Fig. 578), eine einjährige Pflanze, die aus dem östlichen Mittelmeergebiet stammen dürfte; ward bereits im Altertum vielfach angebaut. Grundständige Blätter langgestielt, leierförmig, fiederteilig mit stumpfen Endlappen; sie werden am vielverzweigten Stengel nach und nach kleiner, lanzettlich. Die Pflanze ist kahl bis auf einzelne grobe Borsten der Blattoberseite. Blütenstand eine Traube; die dottergelben Einzelblüten stehen von der Spindel ab, die abgeblühten Fruchtknoten und Früchte dagegen sind ihr angedrückt und ragen gerade aufwärts. Reife Frucht kurzgeschnäbelt, Klappen gekielt und flach gewölbt, von einem starken Mittelnerven durchzogen. Samen kugelrund. *Sinapis alba*, Weißer Senf, ebenfalls aus dem Mittelmeergebiet. Rauhbehaarte Pflanze, durch weit von der Spindel abspreizende, lang und flach geschnäbelte Früchte, deren Klappen grob borstenhaarig sind, wie durch doppelt so große, weiße Samen leicht vom schwarzen Senf zu unterscheiden. 2. *Siliquosae lomentaceae: Crambe* (Fig. 574 *E*) unterer Teil der Schote unfruchtbar und *Cakile,* dickblättrige Strandpflanzen, *Raphanus sativus,* Rettich, Radieschen usw. 3. *Siliculosae dehiscentes latiseptae*: *Cochlearia*, Löffelkraut, *Vesicaria*, *Aubrietia*, *Draba*, *Lunaria* (Fig. 574 *D*). 4. *Siliculosae dehiscentes angustiseptae*: *Thlaspi, Iberis* mit etwas dorsiventralen Blüten, *Capsella* (Fig. 574 *C*). 5. *Siliculosae nucamentaceae*: *Isatis tinctoria.*

Fig. 579. Capparis spinosa, blühender Zweig und junge Frucht auf ihrem Gynophor. ½ nat. Gr.

Officinell: Semen Sinapis (Pharm. germ., austr., helv.) von *Brassica nigra*, Oleum Sinapis (ibidem), Semen Erucae (Pharm. germ., helv.) von *Sinapis alba.* Herba Cochleariae (Fig. 577) von *Cochlearia officinalis*; zweijähriges kahles Kraut, das im Sommer keimt, eine größere Rosette langgestielter löffelförmiger Blätter bildet, überwintert und im Frühsommer eine niedrige, reich verzweigte weiße Blütenrispe bringt. Zur Zeit der Fruchtreife ist die Rosette grundständiger Blätter bereits vergangen.

4. Familie ***Capparidaceae.*** Kräuter oder Sträucher mit einfachen oder gefingerten Blättern, Nebenblätter häufig vorhanden. Blüten wie bei Cruciferen. K4, C4, A2 + 2, G(2), jedoch durch Spaltung der Staubblätter oder einzelner von ihnen in unbestimmt viele,

und durch Einschiebung eines Gynophors, welches den Fruchtknoten hoch über die Blüte emporhebt, unterschieden. Frucht häufig eine Beere, Steinfrucht oder Kapsel. Samen ohne Endosperm.

Capparis spinosa, kleiner Kletterstrauch der Mittelmeerländer, mit einfachen Blättern, kurz dornigen, gekrümmten Nebenblättern und einzelnen blattwinkelständigen, radiären Blüten, deren Andröceum in sehr zahlreiche Glieder gespalten ist. Frucht eine Beere bis zu Pflaumengröße mit zahlreichen Samen. Junge Blütenknospen liefern die „Kappern".

5. Familie ***Resedaceae.*** Kräuter mit wechselständigen Blättern und dichttraubigen dorsiventralen Blüten. Sexualorgane auf einem Gynophor oder Discus. K 5–8, C 5–8, A ∞, G $\underline{2-6}$. Einfächeriger Fruchtknoten, dessen Wölbung oben nicht geschlossen wird, oder Fruchtblätter frei. *Reseda odorata* kultiviert, *R. lutea*, *R. luteola* einheimisch.

7. Ordnung. Insectivorae [24].

Diese kleine Ordnung begreift die drei sonst wohl in die Cistifloren eingereihten Familien der *Sarraceniaceen*, *Nepenthaceen* und *Droseraceen*. Ihr Name ist von der ihren Vertretern allgemein zukommenden Eigenschaft, Insekten zu fangen und zu verdauen, hergeleitet (vgl. S. 190, Fig. 204—206). Zusammengehörigkeit der drei Familien wird neuerdings allgemein angenommen, auch pflegte man sie bereits den *Resedaceen* anzuschließen.

Gattungen der Sarraceniaceae: *Sarracenia*, *Darlingtonia*, nordamerikanische Sumpf- und Moorpflanzen.

Gattungen der Nepenthaceae: *Nepenthes*, diöcische, kletternde Kannenpflanzen des tropischen Asien (Fig. 45).

Gattungen der Droseraceae: *Dionaea*, nordamerikanische Fliegenfalle, *Aldrovanda vesiculosa*, europäische Wasserpflanze, auch in Indien und Australien vorkommend. *Drosera*, einheimische Gattung, in vielen Arten auf Torfmooren weit verbreitet, *Drosophyllum lusitanicum*, Spanien und Portugal.

8. Ordnung. Saxifraginae.

Kräuter oder Holzgewächse von sehr verschiedenartigem Habitus mit strahligen, fünfzähligen Blüten. Andröceum meist obdiplostemon. Carpelle zwei bis fünf, frei oder vereinigt, ober-, mittel- oder unterständig.

In diese Ordnung wäre auch die Familie der *Podostemonaceae* [24a] einzureihen, deren Vegetations- und Fortpflanzungsorgane ihrer Lebensweise entsprechen und, dem Vorkommen in den reißendsten Strudeln und Wasserfällen tropischer Flüsse und Bäche gemäß, völlig abweichend sind.

1. Familie ***Crassulaceae.*** Succulente [25] Kräuter (vgl. S. 169) oder Halbsträucher mit vielgliedrigen cymösen Blütenständen. Zwitterblüten mit Kelch und Krone, deren Gliederzahl wechselt. Obdiplostemon oder haplostemon. Fruchtblätter frei (Fig. 580), ober- bis mittelständig, am Grunde mit einem schuppenförmigen Nectarium. Kapselfrüchtchen mit zahlreichen, endospermarmen Samen.

Fig. 580. Sedum Telephium. Vergr. 4. *a* Blüte. *b* Blüte im Längsschnitte.

Wichtigere Gattungen: *Sedum* mit fünfzähligen Blüten, in zahlreichen Arten bei uns einheimisch, *Sempervivum* mit 6—∞zähligen Blüten. *S. tectorum*. *Bryophyllum* mit vierzähligen Blüten, ausgezeichnet durch die leichte und massenhafte Knospenbildung in den Kerbstellen des Battrandes. *Crassula*.

2. Familie ***Saxifragaceae*** [26]. Kräuter oder Holzgewächse mit wechsel-

ständigen Blättern. Blüten zwittrig, obdiplostemon, vier- oder fünfzählig, meist zwei mittel- oder unterständige Fruchtblätter. Fruchtknoten ein- oder zweifächerig. Kapsel- oder Beerenfrüchte mit ∞ endospermhaltigen Samen.

Wichtige Gattungen: *Saxifraga*, Steinbrech, kleine krautige Pflanzen, die besonders als Fels- und Geröllpflanzen der Gebirge häufig sind, dicht rosettigen Wuchs ihrer grundständigen Blätter (vgl. S. 168, Kalkschüppchen) zeigen und zahlreiche fünfzählige Blüten in ihren mannigfaltigen Inflorescenzen vereinigen. Zwei Fruchtblätter mittelständig, in ihren oberen Teilen frei. *Parnassia palustris*, häufige Pflanze unserer Wiesen, K 5, C 5, A 5 + 5, G(4). Fruchtknoten einfächerig mit parietalen Placenten. Kronstaubblätter zu handförmig zerschlitzten Staminodien umgebildet, die als Nektarien fungieren. *Cephalotus follicularis*, insektenfangendes Kraut Westaustraliens, besitzt krugförmige Blätter neben gewöhnlichen flachen mit elliptischer Spreite. *Ribes*-Arten mit unterständigem Fruchtknoten liefern Beerenfrüchte, deretwegen sie vielfach kultiviert werden. *R. rubrum* (Fig. 581), Johannisbeere, *R. nigrum* schwarze J., *R. grossularia*, Stachelbeere. Andere Saxifragaceen beliebte Zierpflanzen: wie *Ribes aureum* und *R. sanguineum*, *Hydrangea*, Hortensie, *Philadelphus*, *Deutzia*.

Fig. 581. Ribes rubrum. 2/3 nat. Gr. — Officinell.

Officinell: Syrupus ribium (Pharm. austr.) von *Ribes rubrum*.

3. Familie ***Hamamelidaceae.*** Holzgewächse der Tropen und Subtropen, Liquidambar monöcisch. Blüten in Köpfchen männliche apetal, Zahl der Staubblätter unbestimmt. Weibliche mit Perianth und zweifächerigem Fruchtknoten. *Liquidambar styraciflua*, häufiger Waldbaum Nordamerikas.

Officinell: Styrax liquidus (Pharm. germ., austr., helv.) von *Liquidambar orientalis*

4. Familie ***Platanaceae.*** Stattliche Bäume mit wechselständigen, drei- bis fünflappigen festen Blättern und großen Nebenblättern. Blüten diklin, monöcisch, in kleinen kugeligen Köpfchen, die sich an hängenden Achsen in größeren Abständen zu drei bis vier finden. Männliche Blüten mit drei bis vier Staubblättern, weibliche mit vier freien Fruchtblättern. Perianth unansehnlich.

Platanusarten vielfach als Alleebäume gepflanzt.

9. Ordnung. Rosiflorae.

Einzige Familie ***Rosaceae*** (27). Kräuter, Sträucher oder Bäume mit wechselständigen Blättern und Nebenblättern sehr verschiedener Form und Ausbildung. Blüten strahlig (bis auf einige *Chrysobalaneen*), wirtelige Stellung der Glieder: K 5, C 5. Staubblätter meist zahlreich. Fruchtblätter 1 bis viele, frei voneinander, mittelständig auf der verbreiterten, erhöhten oder vertieften Blütenachse, oder aber unterständig und nur die Griffel frei. Fruchtbildung oft unter Beteiligung der Blütenachse. Samen meist ohne Endosperm.

Die charakteristischen Merkmale der *Rosaceen* sind die apokarpen Früchte, die Vielzähligkeit des Andröceums (Fig. 582). Beide Eigenschaften kommen auch den

Ranunculaceen oder überhaupt den *Polycarpicae* zu; doch sind die Blütenglieder hier spiralig gestellt, bei den *Rosaceen* streng wirtelig. Dazu die eigenartige Ausbildung der Blütenachse (Fig. 583). In vielen Fällen geht die Vermehrung der Andröceum- und Gynöceumglieder von einem an der schüsseligen Vertiefung der Achse interkalar gelegenen,

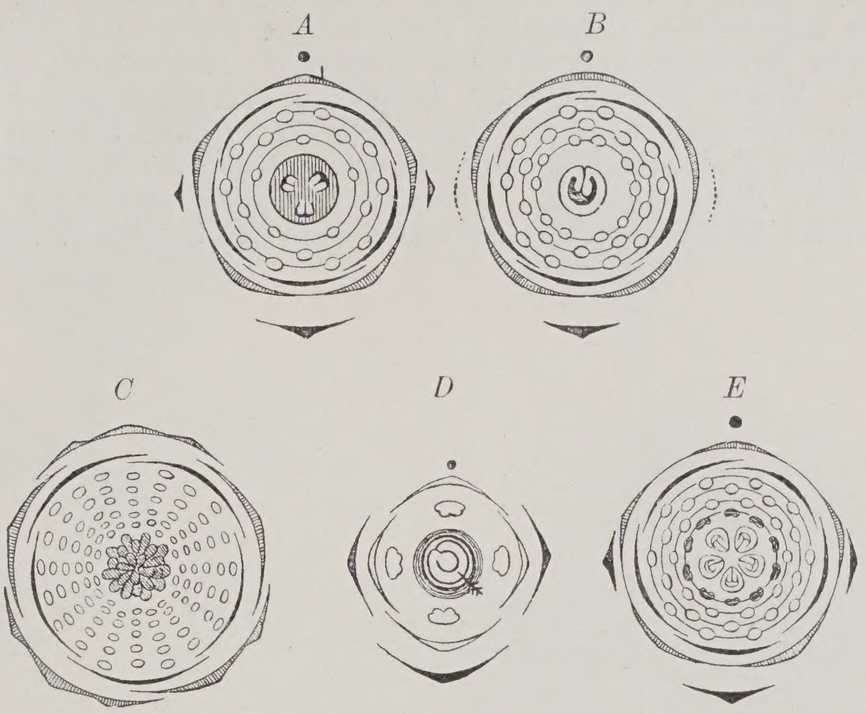


Fig. 582. Blütendiagramme von Rosaceen. *A* Sorbus domestica. *B* Prunus Padus. *C* Rosa tomentosa. *D* Sanguisorba officinalis. *E* Spiraea hypericifolia. (Nach EICHLER.)

gürtelförmigen Vegetationspunkte aus längere Zeit nebeneinander her. Über die Einschiebung neuer Glieder entscheiden räumliche Verhältnisse, so daß bei verschiedenen Individuen derselben Art Differenzen in den Zahlen vorkommen.

Die Familie zerfällt in eine Anzahl von Unterfamilien:

a) *Spiraeeae.* K 5, C 5, A 5 + 5 oder mehr, G <u>5</u>, andere Zahlen der Wirtel sind seltener. Fruchtblätter frei oder verwachsen, mit je 2 oder mehr als 2 Samenanlagen. Früchte meist aufspringend. Blütenachse mehr oder minder flach scheibenförmig. Hierher

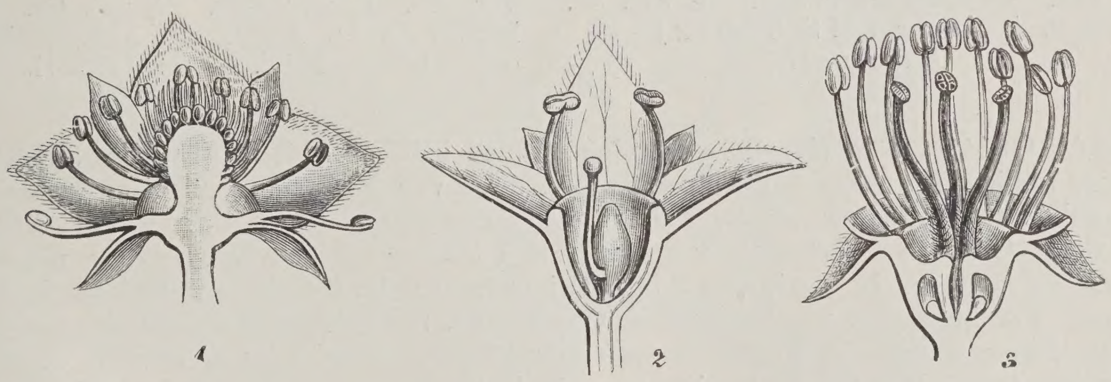


Fig. 583. Ausbildung der Blütenachse bei den Rosaceen. *1* Potentilla palustris. *2* Alchemilla alpina. *3* Pirus malus. (Nach FOCKE, in Natürl. Pflanzenfam.)

gehört die Gattung *Spiraea*, deren zahlreiche Arten mit ihren reichblütigen Inflorescenzen als Ziersträucher Verwendung finden (Fig. 582 *E*). *Quillaja Saponaria* (Fig. 584), Seifenrindenbaum Chiles, immergrüner Baum mit kurzgestielten, wechselständigen, lederartigen Blättern und gipfelständigen, meist dreiblütigen Dichasien. Blüten durch ihre fünfzackige, auf die großen Kelchblätter hinaustretende, honigabsondernde Scheibe charakterisiert, an deren eingekerbten Vorsprüngen die fünf Kelchstaubblätter stehen,

während sich die Kronstaubblätter am inneren Rande befinden. Kronblätter schmal, weiß, Fruchtknoten oberständig. Nur die Mittelblüte des Dichasiums zwittrig und fruchtbar, die seitlichen mit verkümmertem Fruchtknoten männlich. Sternförmige Sammelfrucht. Jedes Fruchtblatt in 2 Klappen aufspringend. Samen geflügelt.

b) *Pomeae.* Durch den unterständigen, meist aus 5 Fruchtblättern bestehenden, rings mit der ausgehöhlten Blütenachse verwachsenen, gefächerten Fruchtknoten und freie Griffel von den sonstigen *Rosaceen* unterschieden. Fruchtblätter mit 1 bis vielen Samenanlagen. Frucht durch fleischige Ausbildung der Blütenachse Beeren. Fachwandungen pergamentartig oder aus Steinzellgewebe. Samen mit wohlentwickeltem Embryo, fleischigen Kotyledonen ohne Endosperm. Hierher *Pirus malus*, Apfelbaum (Fig. 583 *3*, 585), *Pirus communis*, Birnbaum, unsere wichtigsten einheimischen Obstbäume; beides alte Kulturpflanzen mit zahlreichen verschiedenen Varietäten. *Cydonia*

Fig. 584. Quillaja Saponaria. 4/5 nat. Gr. (Nach A. Meyer und Schumann.) — Officinell.

Fig. 585. Pirus malus. 1/2 nat. Gr. Blühender Zweig, Einzelblüte und Frucht im Längsschnitt. — Officinell.

vulgaris, Quitte, mit einzeln stehenden großen hellrosa Blüten. Früchte apfel-birnförmig, wollig-filzig behaart, roh ungenießbar, doch von höchst angenehmem Aroma, das den gekochten Früchten erhalten bleibt. *Mespilus germanica*, Mispelbaum, Früchte mit tiefer Grube am Scheitel, rings von den Überresten der Kelchblätter umgeben. *Eriobotrya japonica*, japanische Mispel, immergrün, im Mittelmeergebiet häufig angepflanzt. Früchte saftig, von säuerlichem Geschmack, mehrere große Samen umschließend. *Sorbus* (*Pirus*) *aucuparia*, Vogelbeerbaum, häufiger Allee- oder Zierbaum. *Crataegus* (*Mespilus*) Arten, Rotdorn, Weißdorn, in Hecken oder als Zierbäume verbreitet.

c) *Roseae.* Blütenachse krugförmig vertieft mit 1 bis vielen freien Fruchtblättern und je 1—2 Samenanlagen. Früchtchen nußartig, vom Blütenbecher umschlossen. *Rosa* in zahlreichen Arten, Kulturformen und Varietäten. Blütenbecher wird fleischig. Ihrer Form, Farbe und ihres Duftes wegen seit alten Zeiten kultiviert (Fig. 582 *C*). Kletternde oder nicht kletternde Sträucher mit unpaarig gefiederten Blättern, großen, dem Blattstiel angewachsenen Nebenblättern und ansehnlichen Blüten von lebhafter Farbe. Kelchblätter auf dem Rande des Blütenbechers laubartig, fiederschnittig (vgl. Fig. 476). Gefüllte Formen durch kronblattartige Ausbildung zahlreicher staminodial gewordener Staubblätter. — *Agrimonia* und *Hagenia abyssinica* mit hartem Blütenbecher. *Hagenia*

diöcischer Baum mit unpaarig gefiederten Blättern, deren Blattstiel durch Nebenblätter rinnig geflügelt. Blütenstand reichverzweigte Rispen. Einzelblüten mit zwei Vorblättern und Außenkelch durch Fehlschlagen eingeschlechtig. Krone nach der Blüte hinfällig, Kelch eingerollt, Außenkelch vergrößert. Zwei freie Fruchtblätter mit je 1 Samenanlage. Frucht einsamig (Fig. 586, 587). *Alchemilla* ohne Kronblätter; Fehlen des Schauapparates steht

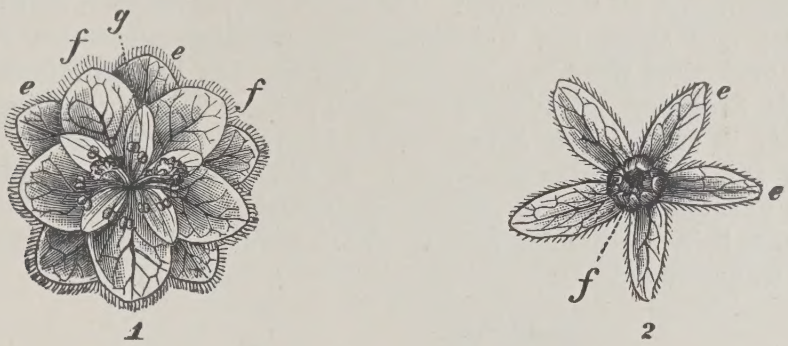


Fig. 586. Hagenia abyssinica. *1* weibliche Blüte, *e* Außenkelch, *f* Kelch, *g* Corolle. Vergr. 4. *2* Frucht mit vergrößertem Außenkelch. Nat. Gr. (Nach BERG u. SCHMIDT.) — Officinell

Fig. 587. Hagenia abyssinica. Zweigstück mit Blütenstand. 1/2 nat. Gr. (Nach BERG und SCHMIDT.) — Officinell.

wohl mit der parthenogenetischen Embryobildung im Zusammenhang (11) (Fig. 583 *2*). (*Poterium*) *Sanguisorba officinalis* mit köpfchenförmig gehäuften, polygamen — d. h. teils zwitterigen, teils eingeschlechtigen — Einzelblüten ohne Außenkelch und Krone; vierzählig mit 1 bis 2 Fruchtblättern (Fig. 582 *D*).

d) *Potentilleae.* Blütenboden schüsselförmig flach oder aufgewölbt, trägt zahlreiche freie Fruchtblätter, die sich zu Nüssen, Steinfrüchten oder Beeren entwickeln. Je eine Samenanlage. Außenkelch oft vorhanden. *Potentilla* mit zahlreichen einheimischen Arten (Fig. 583 *1*). *Geum* und *Dryas* mit weichhaarigen, langauswachsenden Früchtchen, die durch den Wind verbreitet werden. Letztere Gattung mit hochnordischen und alpinen Formen. *Fragaria*, Erdbeere, mit kleinen Nüßchen auf der fleischig geschwollenen Achse. *Rubus*, Brombeere, in zahlreichen Arten, meist kletternde Sträucher mit starken rückwärts gerichteten Dornen. Blätter dreizählig. *R. Idaeus*, Himbeere, eine der wenigen nicht kletternden Formen (Fig. 588). Kleine Steinfrüchtchen, die auf konvexer Blütenachse eng gedrängt, lose aneinander haften. Vertrocknete Griffel auf den Einzelfrüchtchen noch lange wahrnehmbar.

Fig. 588. Rubus Idaeus. Blühender Zweig und Früchte. 1/2 nat. Gr. — Officinell.

e) *Pruneae.* Stets ein einziges Fruchtblatt, mittelständig auf flach schüsselförmig vertieftem Blütenbecher (Fig. 582 *B*). Zwei Samenanlagen. Steinfrüchte, einsamig. Zahlreiche wichtige Steinobstbäume: *Prunus Cerasus*, Sauerkirsche (Fig. 589). *Prunus avium*, Süßkirsche, *Pr. domestica*, Pflaume (Zwetsche), *Pr. armeniaca*, Aprikose, chinesischen Ursprungs ebenso wie *Pr. persica*, Pfirsich; *Pr. Amygdalus*, Mandel, aus dem östlichen Mittelmeergebiet. Die beiden letztgenannten Arten mit behaarten Früchten. Das fleischige Exokarp der Mandel trocknet beim Reifen ein und platzt auf, so daß das steinige Endokarp freigelegt wird.

f) *Chrysobalaneae.* Mit oft dorsiventralen Blüten. 1 Fruchtblatt.

Giftig: Die Samen vieler Rosaceen sind amygdalinhaltig, jedoch nicht hinreichend, um frisch genossen durch die entstehende Blausäure giftig zu wirken; letzteres ist aber bei Pressrückständen, z. B. von bitteren Mandeln, häufig der Fall. Die Blätter des Kirschlorbeers, *Prunus Laurocerasus*, können ebenfalls Vergiftungen hervorrufen.

Officinell: Pirus Malus: Extractum ferri pomati (Pharm. germ., helv.). — *Cydonia vulgaris* liefert Semen Cydoniae und Mucilago Cydoniae (Pharm. austr., helv.). — *Hagenia abyssinica*: Flores Koso (Pharm. germ., austr., helv., Fig. 586, 587). — *Rosa centifolia*: Flores Rosae (Pharm. germ., austr., helv.); dieselbe und andere Arten: Ol. Rosae (ibid.). — *Rubus idaeus*: Sirupus R. idaei (Pharm. germ., austr.,

helv.). — *Prunus Amygdalus*: Amygdalae dulces und A. amarae, Oleum Amygdalarum (Pharm. germ., austr., helv.). — *Pr. domestica*: Pulpa prunorum (Pharm. austr.). — *Pr. Laurocerasus*: Aqua Laurocerasi (Pharm. austr., helv.). — *Pr. Cerasus*: Sirupus Cerasorum (Pharm. germ.). — *Quillaja Saponaria*: Cortex Quillajae

Fig. 589. Prunus Cerasus. $^2/_3$ nat. Gr. *1* Blühender Zweig. *2* Einzelblüte halbiert (etwas vergr.). *3* Fruchtstand. *4* Einzelfrucht halbiert. — Officinell.

(Pharm. germ.). — *Spiraea Ulmaria*: Flores Spiraeae (Pharm. helv.). — *Rubus fruticosus*: Folium Rubi fruticosi (Pharm. helv.). — *Potentilla Tormentilla*: Rhizoma Tormentillae (Pharm. helv.).

10. Ordnung. Leguminosae (28).

Das gemeinsame Kennzeichen aller Leguminosen ist in der Beschaffenheit ihres Fruchtknotens gegeben. Stets aus einem einzigen Fruchtblatt hervorgehend, dessen Bauchnaht nach hinten gekehrt ist (Fig. 590, 593, 599), ist er einfächerig und trägt die Samenanlagen in einer oder zwei Reihen an der Bauchnaht. Meist wird die Frucht eine Hülse (Legumen), die an Bauch- und Rückennaht in 2 Klappen aufspringt (Fig. 604). Wechselständige, zusammengesetzte Blätter mit Nebenblättern sind fast allen Leguminosen eigen. Sehr viele besitzen Gelenke (Fig. 230, 231), welche Variationsbewegungen der Blätter und Teilblättchen ermöglichen.

1. Familie ***Mimosaceae.*** Bäume und aufrechte oder schlingende Sträucher mit doppeltgefiederten Blättern. Blüten strahlig, fünf- oder vierzählig. Knospenlage von Kelch und Krone klappig. Staubblätter frei, an

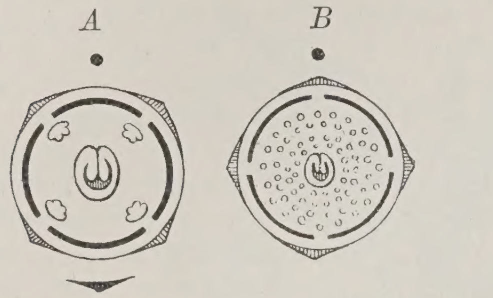


Fig. 590. Blütendiagramme von Mimosaceen. *A* von Mimosa pudica, *B* von Acacia lophantha. (Nach EICHLER.)

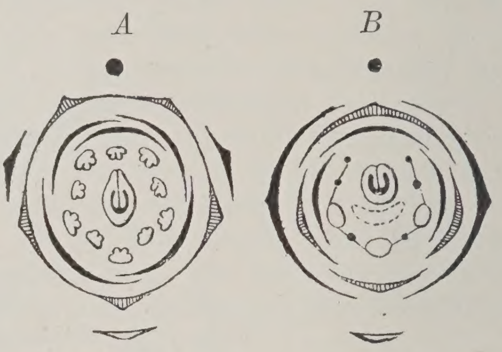


Fig. 593. Blütendiagramme von Caesalpiniaceen. *A* von Cercis siliquastrum, *B* von Tamarindus indica. (Nach EICHLER.)

Zahl wechselnd, halb-, voll- oder überzählig. Sie bedingen durch ihre bedeutende Länge oder durch ihre große Zahl die Blütenfarbe. Die Krone ist meist unscheinbar. Pollenkörner häufig in Tetraden oder zu mehreren vereinigt. Blüten in Ähren oder Köpfchen zu vielen beisammen. Samen mit einem geraden Embryo.

Fig. 591. Acacia Senegal. Blühender Zweig. Nat. Gr. (Nach A. MEYER u. SCHUMANN.) — Officinell.

Wichtige Gattungen: Die Familie besitzt in Europa keinen einheimischen Vertreter. Das überall in den Tropen verbreitete Unkraut *Mimosa pudica*, Sinnpflanze (Fig. 231), mit hochgradiger Empfindlichkeit gegen Berührung (vgl. S. 240). Gattung *Acacia* in zahllosen Arten in den Tropen und Subtropen der alten und neuen Welt verbreitet; einige werden im Mittelmeergebiet kultiviert. Ihre australischen Formen sind vielfach ausgezeichnet durch den Besitz von Phyllodien (Fig. 54 u. 190), deren vertikale Stellung wesentlich mit zum eigenartigen Habitus der australischen Wälder beiträgt. Nur Keimpflanzen dieser Arten bringen wohl regelmäßig noch einige doppelt- und paarig-gefiederte Blätter gleich nach den Kotyledonen hervor. Einige amerikanische *A.*-Arten von Ameisen bewohnt (vgl. S. 187, Fig. 201), denen sie in großen Nebenblattdornen Wohnung, in den BELTschen Körperchen an den Enden der Fiederblättchen Nahrung gewähren. Sie werden von ihren Bewohnern gegen die Blattschneiderameisen beschützt. Durch Lieferung von Gummi und reichen Gehalt an Gerbstoffen, teils in der Rinde, teils im Extrakt des Kernholzes, gewähren zahlreiche *Acacia*-Arten einen erheblichen Nutzen.

Officinell: Durch Desorganisation des Stammparenchyms liefert *Acacia Senegal* (Fig. 591) (Nilländer und Senegambien) und andere Arten: Gummi arabicum (Pharm. germ., austr., helv.), das aus Wunden als dicke Flüssigkeit herausfließt und erhärtet.

— Catechu (Pharm. germ., austr., helv.) ist ein Dekokt aus dem Kernholze von *Acacia Catechu* (Fig. 592) und *Ac. Suma* (ostindische Bäume).

2. Familie ***Caesalpiniaceae.*** Bäume oder Sträucher mit einfach oder doppelt, paarig gefiederten Blättern. Blüten meist etwas dorsiventral. Krone mit dachig aufsteigender Knospendeckung (Fig. 593) oder fehlend. Typisch:

Fig. 592. Acacia Catechu. $^{2}/_{3}$ nat. Gr. (Nach A. MEYER und SCHUMANN.) — Officinell.

K 5, C 5, A 5 + 5, G $\underline{1}$. Kronblätter und Staubblätter häufig unvollzählig. Embryo gerade.

Wichtige Gattungen: Die Gattung *Cassia* gibt in ihren Blüten charakteristische Beispiele für Caesalpiniaceen. In der Untergruppe *Senna*, wohin *C. angustifolia* rechnet, sind Kelch und Kronblätter frei und in Fünfzahl vorhanden (Fig. 594). Untere deckende Kronblätter etwas größer als die oberen. Von zehn Staubblättern drei obere kurz und unfruchtbar, sieben nach unten bogig gestreckte verschieden lang; sie nehmen

von oben nach unten an Länge zu. Ihre Antheren öffnen sich mit endständigen Poren. Hülse breit und flach zusammengedrückt. Derartige Blüten stehen in Trauben beisammen, blattachselständig an dem etwa meterhohen, mit lebhaft grünen, paarig gefiederten Blättern besetzten Strauche. Am Grunde des Blattstieles zwei kleine Nebenblättchen (Fig. 594). *Tamarindus indica* (Fig. 595), schöner Baum des tropischen Afrika, in den gesamten Tropen jetzt vielfach angepflanzt. Sein weithin reichendes lichtes Laubdach macht ihn zu einem beliebten Alleebaum. Mit einfach paarig gefiederten Blättchen besetzte Seitenzweige bringen die Blütentrauben endständig. Einzelblüten stark dorsiventral (Fig. 593 *B*).

Fig. 594. Cassia angustifolia. 2/3 nat. Gr. (Nach A. Meyer und Schumann.) — Officinell.

Deckblatt und zwei Vorblätter sehr hinfällig. Vier Kelchblätter stehen etwa kreuzförmig. Drei rotgeaderte gelb-weißliche Kronblätter aufgerichtet. Drei am Grunde verwachsene Staubblätter liegen dem leicht bogig geschwungenen Fruchtblatte an, so daß Antheren und Narben emporschauen. Frucht abweichend. Ihre Wandung differenziert sich in ein äußeres brüchiges Exokarp, ein fleischiges musartiges Mesokarp und ein festes, die einzelnen mehr oder minder zahlreichen Samen umhüllendes, aus Steinzellen bestehendes Endokarp (Fig. 596). *Humboldtia laurifolia* mit hohlen von Ameisen bewohnten Internodien. (Fig. 202, S. 188). Kaum merklich dorsiventral sind die kronblattlosen Blüten von *Copaïfera* (Fig. 597), in denen auf 4 Kelchblätter sogleich 8—10 freie Staubblätter folgen. Frucht einsamig, öffnet sich bei der Reife. Ein fleischiger, unregelmäßig begrenzter Arillus umhüllt den Samen einseitig. Einheimische Caesalpiniaceen fehlen; die im Mittelmeergebiet be-

heimatete cauliflore, d. h. aus altem Holz Blüten bringende *Cercis siliquastrum* und *Gleditschia triacanthos* (N. Am.) wohl als Zierpflanzen in Gärten kultiviert.

Officinell: Folia Sennae (Pharm. germ., austr., helv.), Fiederblättchen von *Cassia angustifolia* (tropisches Ostafrika und Arabien, in Tinevelly, an der Südspitze von Vorderindien kult.) (Fig. 594); Pharm. austr. und helv. lassen auch Fol. S. Alexandrinae von *C. acutifolia* zu. — *Cassia obovata* (Ägypten): Fructus Sennae (Pharm. helv.). *Cassia Fistula* (tropisches Amerika): Fructus Cassiae Fistulae (Pharm. austr., helv.) und Pulpa Cassiae Fist. (Pharm. austr.). — *Copaïfera*-Arten (Fig. 597) (Bäume des

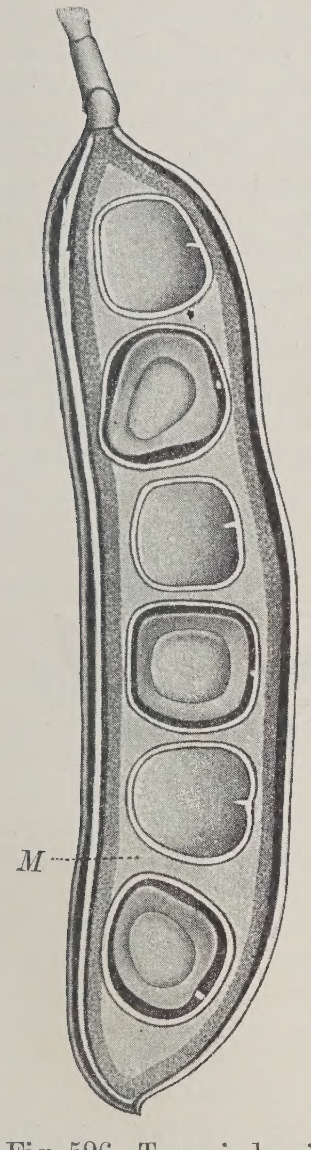


Fig. 596. Tamarindus indica. Frucht im Längsschnitt. *M* das fleischige Mesokarp. (Nach Berg u. Schmidt.) — Officinell.

Fig. 595. Tamarindus indica. $^4/_5$ nat. Gr. (Nach A. Meyer und Schumann.) — Officinell.

tropischen Amerika) enthalten in Balsamgängen des Holzes: Balsamum Copaïvae (Pharm. germ., austr., helv.). — Rad. Ratanhiae (Pharm. germ., austr., helv.) von *Krameria triandra*, einem Strauch der Kordilleren. Blüten völlig abweichend, Kelchblätter innen lebhaft gefärbt. Krone klein. 3 Staubblätter mit Porenöffnung am Scheitel. Früchte kugelig mit Stacheln besetzt. Silberweiße einfache Blättchen (Fig. 598). — Lignum Haematoxyli (Pharm. austr.), Kernholz von *Haematoxylon campechianum* (tropisches Amerika). — Pulpa Tamarindorum (Pharm. germ., austr., helv.) aus dem musartigen Mesokarp der Frucht von *Tamarindus indica* (Fig. 595, 596).

3. Familie ***Papilionaceae.*** Kräuter, Sträucher oder Bäume mit in der Regel unpaarig gefiederten Blättern. Blüten stets stark dorsiventral; sie be-

stehen aus fünfblättrigem Kelch, schmetterlingsförmiger fünfblättriger Krone mit absteigender Knospendeckung (Fig. 599). Staubblätter 10, alle miteinander zu einem, den Fruchtknoten umhüllenden Ring verwachsen oder die 9 vorderen verwachsen und das hinterste frei. Samen mit gekrümmtem Keimling.

Die Bestandteile einer Schmetterlingsblüte sind in Figur 600 im einzelnen auseinandergelegt. Das hintere, in der Knospenlage (Fig. 599) beiderseits übergreifende Kronblatt heißt Fahne (vexillum). Zwei darauf folgende seitliche die Flügel (alae), und die mit ihrem unteren Rande meist verwachsenen beiden unteren bilden das Schiffchen oder Kiel (carina). Die Staubblätter sind an ihren oberen Enden meist frei und aufwärts gekrümmt, ebenso der Griffel mit seiner Narbe.

Wichtige Unterfamilien und Gattungen: Zu den Caesalpiniaceen zeigen durch mehr oder minder freie Staubblätter 1. *Sophoreae* und 2. *Podalyrieae* nächste Beziehungen, erstere durch gefiederte, letztere durch meist einfache oder gefingerte Blätter ausgezeichnet. Gattung *Myroxylon*, zu den *Sophoreen* gehörig, ist wegen des Balsamgehaltes ihrer Angehörigen von Bedeutung. *Myroxylon Pereirae*, ein Baum von mäßiger Höhe, besitzt unpaarig gefiederte Blätter (Fig. 601) in wechselständiger Anordnung. Blüten in endständigen Trauben, sind nur mit einem großen Vexillum versehen, alle übrigen Blätter der Krone bleiben unansehnlich und schmal. Staubblätter nur am Grunde miteinander verwachsen. Antheren ansehnlich, rot-gelb (Fig. 602). Höchst eigenartig ist die Frucht (Fig. 603). Fruchtknoten langgestielt, führt an der Spitze zwei Samenanlagen. Eine von ihnen wird zum Samen der geschlossen bleibenden, zusammengedrückten Hülse, deren Form durch eine an der oberen Naht breite, an der unteren schmale Flügelung, wie durch zwei seitliche Balsamblasen sehr charakteristisch ist. Oben am Stiel bleibt der glockige Kelch erhalten. — 3. *Genisteae.* Alle 10 Staubblätter verwachsen (Fig. 599 *B*). Blätter ganzrandig, gefiedert oder einfach. *Genista*, *Sarothamnus*, *Lupinus*, *Cytisus* (Fig. 604).

Fig. 597. Copaïfera Langsdorffii. $^1/_2$ nat. Gr. Einzelne Blüte, nat. Gr., und Frucht, verkl. — Officinell.

Fig. 598. Krameria triandra. $^4/_5$ nat. Gr. (Nach A. Meyer u. Schumann.) — Officinell.

Der Goldregen, *Cytisus Laburnum*, einer der häufigsten und beliebtesten Zierbäume unserer Gärten mit dreiteilig-gefiederten Blättern und lang herabhängenden gelben Blütentrauben, wächst in den Alpen wild. Durch Pfropfung von *C. purpureus* auf *C. Laburnum* soll angeblich der in Gärten hie und da verbreitete *C. Adami* gewonnen sein, dessen Blütentrauben am gleichen Individuum bald mehr der einen, bald mehr der anderen Stammform nahekommen. Doch ist die Pflanze in ihrer Mittelform unfruchtbar und entspricht wahrscheinlich einem gewöhnlichen Bastard, der auf *C. Laburnum* gepfropft ist. *Ulex*, Charakterpflanze Englands, *Spartium* im Mittelmeergebiet verbreitet. — 4. *Trifolieae.* Dreiteilige, gezähnte Blätter. Blüten kopfig gehäuft oder in Ähren oder Dolden vereinigt. Staubblätter (9) + 1. Schließfrüchtchen. *Trifolium*, Klee, mit bleibendem Kelch und Krone. *Medicago* Schneckenklee, mit hinfälliger Krone; Früchte sichelförmig oder schraubig gekrümmt. *Melilotus* Steinklee mit traubigen Blütenständen. *Trigonella*, *Ononis*, Hauhechel. Bei den im großen angebauten *Trifolium*-, *Medicago*- und *Lupinus*-Arten kommt die Stickstoffanreicherung des Bodens durch die „Leguminosenknöllchen“ (vgl. S. 185, Fig. 200) für europäische Verhältnisse am meisten zu praktischer Verwertung. — 5. *Loteae.* *Lotus*, Hornklee (Fig. 600). Blätter unpaarig gefiedert, unterstes Fiederpaar durch Fehlen des Blattstiels nebenblattähnlich. *Anthyllis*, Wundklee, *Tetragonolobus.* — 6. *Galegeae* oder *Astragaleae.* Unpaarig gefiederte Blätter; sehr große Unterfamilie mit Angehörigen, deren Habitus außerordentlich verschieden ist. *Astragalus*-Arten, Traganthsträucher, niedrige Sträucher des östlichen Mittelmeergebietes und westlichen Asien, deren Blattspindeln nach Abfall der Fiederchen vielfach lange Jahre als scharf stechende Dornen erhalten bleiben und zum Schutz der jungen Triebe, Blätter und Blüten dienen (Fig. 605). Einheimische Arten wenig zahlreich und habituell abweichend. *Robinia*, rasch wachsender Baum Nordamerikas mit sehr sprödem, windbrüchigem Holz, vielfach angepflanzt als „Akazie“. *Glycyrrhiza*, Süßholz, Stauden des südlichen Europa (Fig. 606), *Colutea*, *Caragana*, *Indigofera*, *Wistaria sinensis*, schön blau blühende Schlingpflanze, häufig an Häusern u. dergl. — 7. *Hedysareae*, an ihren Gliederhülsen kenntlich, die Samen durch Scheidewände voneinander getrennt. *Coronilla* (Fig. 607), *Arachis hypogaea*, Erdnuß, eine wichtige Ölfrucht der Tropen und Subtropen. Ihre Blütenstiele dringen nach der Befruchtung in den Boden ein, und dort reifen die Früchte. — 8. *Vicieae.* Blätter mit Endranken abschließend, welche dem unpaaren Fiederblättchen entsprechen, daher scheinbar paarig gefiedert. Kotyledonen bleiben bei der Keimung in der Samenschale und ergrünen nicht. Staubblätter (9) + 1. Hierher *Vicia*, Wicke, *Pisum*, Erbse, *Ervum*, Linse, *Lathyrus*, Platterbse und als aufrechte rankenlose Pflanze *Faba*, Saubohne, deren Endblättchen zu einem borstenförmigen Stummel verkümmert. — 9. *Phaseoleae.* Windende Pflanzen mit dreiteilig-gefiederten Blättern. Kotyledonen meist oberirdisch und grün. Staubblätter (9) + 1. *Phaseolus*, Bohne. *Physostigma.*

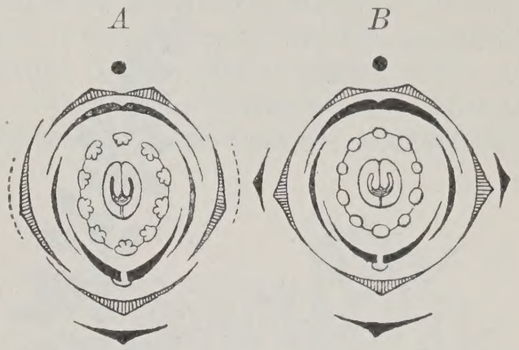


Fig. 599. Blütendiagramme von Papilionaceen. *A* von Vicia Faba. *B* von Cytisus Laburnum. (Nach EICHLER.)

Fig. 600. Lotus corniculatus. $1/2$ nat. Gr. Blühender Sproß. Blüte. Schiffchen, Staubblätter. Fruchtblatt (nat. Gr.) und Frucht $1/2$ nat. Gr.

Giftig: Durch hochgradige Giftigkeit ist unter den einheimischen Papilionaceen nur *Cytisus Laburnum* (Fig. 604) ausgezeichnet. Auch die übrigen Arten der Gattung, wie *C. alpinus*, *C. purpureus*, *C. Weldeni*, *C. biflorus* sind giftig; sie sind indes sowohl im wildwachsenden wie im kultivierten Zustande weit seltener als der Goldregen. — Als

Fig. 601. Myroxylon Pereirae. $^2/_3$ nat. Gr. — Officinell.

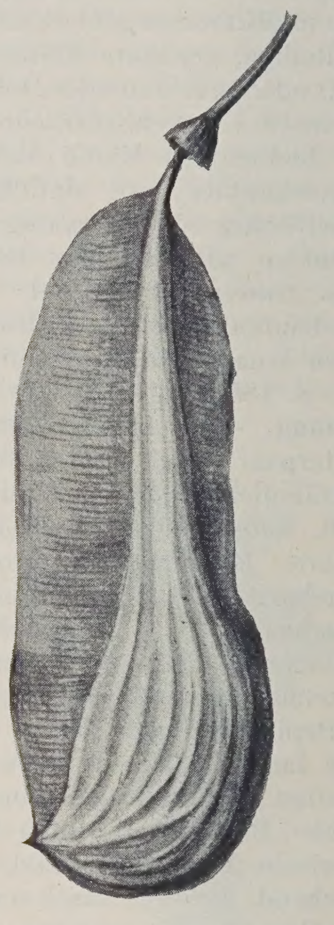


Fig. 603. Frucht von Myroxylon Pereirae. $^2/_3$ nat. Gr. — Officinell.

Fig. 602. Myroxylon Pereirae. Nur ein großes Blumenblatt (Fahne), die anderen schmal. Staubblätter nur an der Basis verwachsen. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.) — Officinell.

giftig gelten auch *Coronilla varia* (Fig. 607), ein wildwachsendes Kraut mit rosenroten Blütendolden, und die blau blühende *Wistaria sinensis* unserer Gärten.

Officinell: *Astragalus*-Arten (Fig. 605) liefern Tragacantha (Pharm. germ., helv.). — *Glycyrrhiza glabra* (Fig. 606) in ihren Wurzeln und Ausläufern: Rad. Liquiritiae (Pharm. germ., austr., helv.). — *Melitotus officinalis*: Herba Meliloti, Steinklee (Pharm. germ., austr.). — *Trigonella Foenum graecum*: Semen Foenugraeci, Bockshornsamen (Pharm. germ., helv.). — *Ononis spinosa*: Rad. Ononidis (Pharm. germ., austr., helv.). — *Spartium scoparium*: Sparteïnum (Pharm. helv.). — *Physostigma venenosum* (Westafrika, bohnenähnliche Schlingpflanze): das aus seinen Samen (Semen Calabar) dargestellte

Fig. 604. Cytisus Laburnum. 1/2 nat. Gr. — Giftig.

Fig. 605. Astragalus gummifer. 4/5 nat. Gr. (Nach A. Meyer und Schumann.) — Officinell.

Alkaloid, Physostigminum (Pharm. germ., austr., helv.). — *Andira Araroba*, ein brasilianischer Baum, enthält in seinem Stamm als pulverige Exkretmasse: Chrysarobinum s. Araroba (Pharm. germ., austr., helv.). — *Pterocarpus santalinus*, ein ostindischer Baum, liefert in seinem Kernholze Lignum Santali rubrum (Pharm. austr.). — *Pterocarpus marsupium*, ein ostindischer Baum, in seinem eingetrockneten Safte: Kino (Pharm. helv.). — *Myroxylon Toluifera* (= *Toluifera Balsamum*), ein südamerikanischer Baum, enthält in Balsamgängen der Rinde: Balsamum tolutanum (Pharm. germ., austr., helv.); *M. Pereirae* (= *Toluifera Pereirae*) (San Salvador, Fig. 601): Balsamum peruvianum (ibid.).

Fig. 606. Glycyrrhiza glabra. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell.

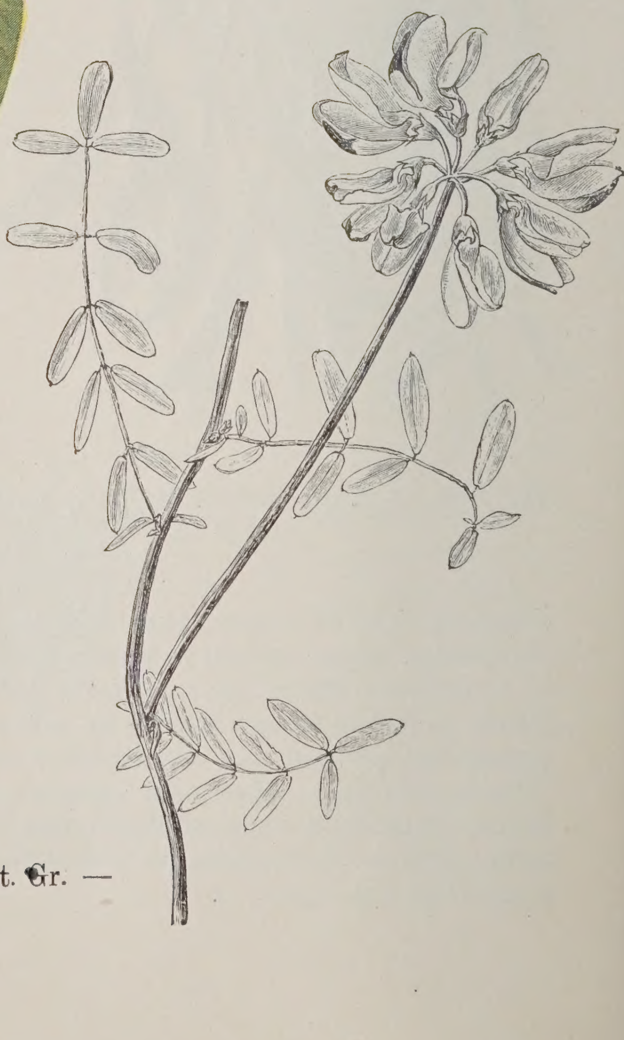


Fig. 607. Coronilla varia. Nat. Gr. — Giftig.

11. Ordnung. Gruinales.

Zwitterige fünfgliederige strahlige Blüten mit oberständigem, gefächertem Fruchtknoten, also K 5, C 5, A 5 + 5, G (5), finden sich bei den meisten Angehörigen der Ordnung. Sind die Blüten dorsiventral, so tritt häufig Reduktion ein. Staubblätter am Grunde verwachsen, obdiplostemon oder

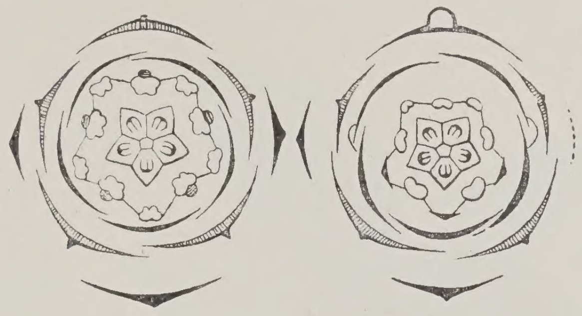


Fig. 608. Blütendiagramme von Geraniaceen. *A* Geranium pratense. *B* Pelargonium zonale. (Nach EICHLER.)

haplostemon. Nektarien an der Außenseite der Staubblätter oder ringförmiger intrastaminaler Discus. Samenanlagen meist hängend, mit aufwärts gerichteter Mikropyle.

Fig. 609. Frucht von Pelargonium inquinans. Vergr. 3. (Nach BAILLON.)

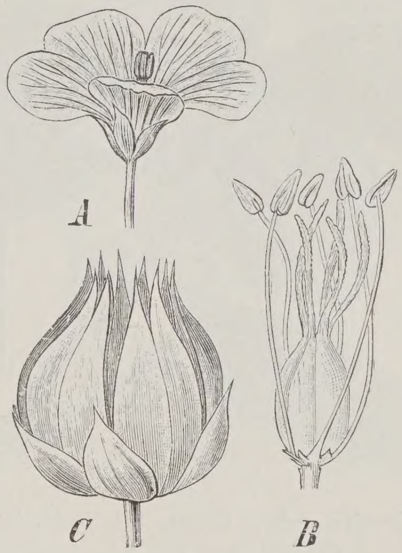


Fig. 610. Linum usitatissimum. *A* Nat. Gr. *B* und *C* Vergr. 3. — Officinell.

In dieser Fassung der Ordnung sind die Terebinthinae mit enthalten, deren wesentliches Kennzeichen in dem intrastaminalen ringförmigen Nektarium gefunden wird.

1. Familie ***Geraniaceae.*** Kräuter oder kleine Sträucher mit meist wechselständigen, gestielten, handnervigen Blättern. Blüten ansehnlich, einzeln blattachselständig oder in wickeligen oder doldigen Blütenständen; meist radiär, bei Pelargonium dorsiventral. Staubblätter 10 oder 5. Zwei Samenanlagen in jedem Fache. Die fünf geschnäbelten Fruchtblätter lösen sich bei der Reife von einem Mittelsäulchen ab, öffnen sich dabei und entlassen die Samen oder bleiben geschlossen und können sich durch hygroskopische Krümmungen der Grannen in die Erde einbohren (Fig. 608, 609; vergl. Fig. 218, S. 220).

Einheimische Gattungen: *Geranium* mit zehn, *Erodium* mit fünf Staubblättern. Zahlreiche kapländische *Pelargonium*-Arten als Zierpflanzen kultiviert; eigenartiger Geruch der vegetativen Teile durch in Drüsenhaaren abgeschiedenes ätherisches Öl bedingt.

2. Familie ***Tropaeolaceae.*** *Tropaeolum majus*, Kapuzinerkresse, Blattstielkletterer. Dorsiventrale gespornte Blüten mit 8 Staubblättern, 3 Fruchtblättern. Spaltfrüchte. Schildblätter (vergl. Fig. 187, S. 166).

3. Familie ***Oxalidaceae.*** Zusammengesetzte Blätter, bei einigen Arten für mechanische Reize empfindlich (*Biophytum* und *Oxalis acetosella*, Sauerklee, vgl. S. 241).

Fig. 612. Citrus vulgaris. 1/2 nat. Gr. — Officinell.

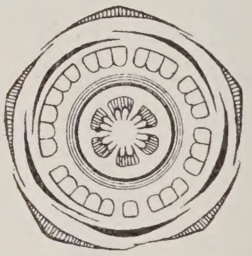


Fig. 611. Erythroxylon Coca. 2/3 nat. Gr. — Officinell.

Fig. 613. Blütendiagramm von Citrus vulgaris. (Nach EICHLER.)

4. Familie ***Linaceae.*** Kräuter oder Sträucher mit wechselständigen, schmalen, ganzrandigen Blättern. Blüten strahlig; Staubblätter am Grunde verwachsen. Kronstaubblätter staminodial. Fruchtknoten fünffächerig, jedes Fach durch eine falsche Scheidewand unvollkommen geteilt; in jeder Kammer eine hängende Samenanlage. Kapselfrucht (Fig. 610 *A—C*). *Linum usitatissimum*, Lein, alte Kulturpflanze. Einjährig; bringt eine Trugdolde blauer kurzlebiger Blüten mit fünf freien Griffeln am Gipfel des mit kleinen schmalen Blättern reich besetzten Stengels. Seine Bastfasern werden nach geeigneter Zubereitung zu Leinwand verwebt. Samen dienen zur Ölbereitung.

Officinell: Semen Lini und Oleum Lini (Pharm. germ., austr., helv.) von *Linum usitatissimum*.

5. Familie ***Balsaminaceae.*** Saftige Kräuter mit durchscheinenden, bisweilen stark knotig geschwollenen Stengeln und einfachen Blättern. Dorsiventrale Blüten

mit fünf freien Staubblättern. Kapselfrüchte elastisch aufspringend. *Impatiens noli tangere*, *I. parviflora* und *I. Balsamina*.

6. Familie ***Erythroxylaceae***. *Erythroxylon Coca*, kleiner Strauch Perus mit ungeteilten ganzrandigen Blättern und blattachselständigen Gruppen kleiner weißer Blüten. Kronblätter mit Anhängsel. A 10, am Grunde röhrig verwachsen, G (3), doch nur 1 Fach fertil. Einsamige Steinfrucht (Fig. 611).

Officinell: Cocaïnum (Pharm. germ., austr., helv.), Alkaloid aus den Blättern, und Folia Coca (Pharm. austr., helv.).

7. Familie ***Zygophyllaceae***. Typisch K 5, C 5, A 5 + 5, G (5) mit intrastaminalem Discus.

Fig. 614. Ruta graveolens. $^1/_2$ nat. Gr. Officinell.

Fig. 615. Quassia amara. $^1/_2$ nat. Gr. (Nach Berg und Schmidt.) — Officinell.

Officinell: *Guajacum officinale*, Bäumchen Westindiens mit gegenständigen, paarig gefiederten Blättern. Fruchtknoten aus zwei Fruchtblättern, zweifächerig. Frucht geflügelt: Lignum Guajaci (Pharm. germ., austr., helv.) und Resina Guajaci (Pharm. austr., helv.).

8. Familie ***Rutaceae***. Meist Sträucher oder Bäume, selten Stauden, mit wechselständigen, gefiederten Blättern; Blüten meist strahlig, vier- bis fünfzählig mit mächtigem, intrastaminalem Discus. Alle Teile mit Ölbehältern.

Wichtige Gattungen: *Ruta graveolens* (Fig. 614), Raute, ausdauernde, halbstrauchige Pflanze mit doppelt gefiederten bis fiederteiligen Blättern. Endblüten der dichasialen Blütenstände bei kräftigen Exemplaren fünfzählig, alle anderen vierzählig. *Dictamnus Fraxinella*, Diptam, einheimisch, mit ansehnlichen dorsiventralen Blüten in rispigen Inflorescenzen.

Fruchtblätter oben frei. Wichtigste Gattung ist *Citrus*[29] mit abweichendem Blütenbau (Fig. 612, 613). Zahlreiche Staubblätter in einem Kreise bündelweise vereinigt. Fruchtblätter ebenfalls vermehrt. Beerenfrüchte. Fruchtfleisch aus Zotten, welche in die Fächer einwachsen. Blätter vieler Arten sind einfach, mit mehr oder minder geflügeltem Blattstiel versehen. Vergleich anderer Arten jedoch und das Gelenk an der Einfügungsstelle der Spreite zeigen, daß unpaarig gefiederte Blätter vorliegen, deren Endfiederchen allein erhalten blieb. Dornen an der Blattansatzstelle entsprechen den verdornten ersten Blättchen der Achselknospe. Die Gattung *Citrus* ist ostasiatischen Ursprungs; mehrere Arten haben in den wärmeren Himalayatälern ihre Heimat, und wohl alle wichtigen Kulturformen sind von den Chinesen zuerst kultiviert worden. *Citrus decumana*, Pompelmus, tropisch; *Citrus medica*, diejenige Form, welche den Griechen beim Zuge Alexanders als „medischer Apfel" bekannt wurde, ist jetzt in verschiedenen Varietäten verbreitet, von denen *Citrus* (*medica*) *Limonum* unserer Citrone entspricht. Dieser Baum dürfte vom 3. oder 4. Jahrhundert unserer Zeitrechnung ab im Mittelmeergebiet gezogen worden sein. *Citrus Aurantium* kommt in zwei verschiedenen Formen vor, als *Citrus* (*Aurantium*) *vulgaris*, Pomeranze, und *C.* (*Aurantium*) *sinense*, Apfelsine; letztere,

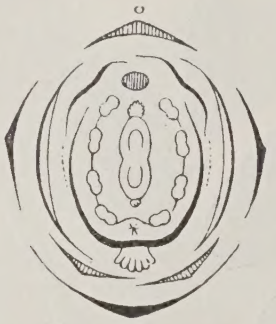


Fig. 616. Blütendiagramm von Polygala myrtifolia. (Nach EICHLER.)

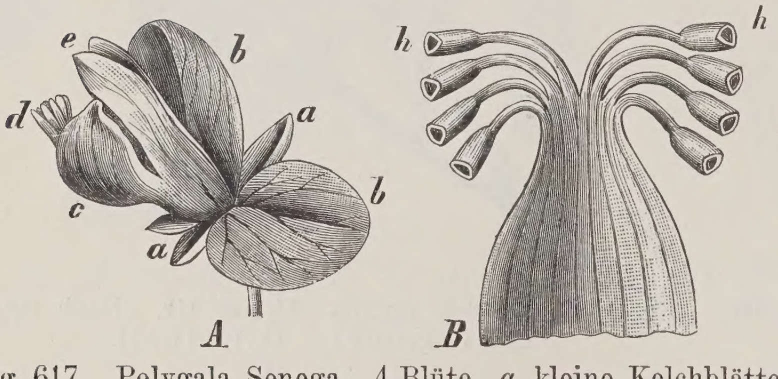


Fig. 617. Polygala Senega. *A* Blüte, *a* kleine Kelchblätter, *b* große Kelchblätter, *c* Kahn, *e* seitliche Kronblätter, *d* Andröceum. *B* Andröceum, *h* Antheren, vergr. — (Nach BERG und SCHMIDT.) — Officinell.

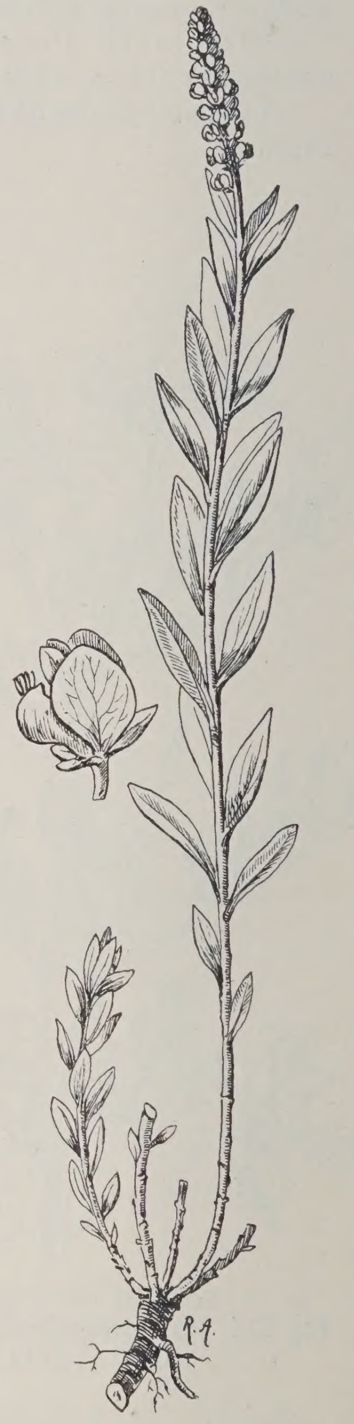


Fig. 618. Polygala Senega. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell.

eine Varietät des bitteren Pomeranzenbaumes von augenscheinlich chinesischer Herkunft, ist bereits mehr oder minder samenbeständig geworden. Der in alle Kultursprachen übernommene Name „Orange" vom Sanskritworte Nagarunga läßt auf alte Kultur des Baumes in Indien schließen; er bezog sich jedoch ursprünglich auf den Pomeranzenbaum, der sehr viel früher als die süße Varietät den Weg nach Westen gefunden, und wurde erst später auf diese übertragen. *Citrus nobilis*, Mandarine, ebenfalls chinesischer Abstammung.

Officinell: *Citrus vulgaris* (Fig, 612) liefert: Fructus Aurantii immaturi, Cortex fruct. Aurantii (Pharm. germ., austr., helv.), Oleum Aurantii florum und Folia Aurantii (Pharm. austr., helv.), Oleum Aurantii Corticis (Pharm. austr.). — *Citrus Limonum*: Cortex fructus Citri und Oleum Citri (Pharm. germ., austr., helv.). — *Citrus Bergamia*: Oleum Bergamottae (Pharm. austr., helv.). — *Ruta graveolens* (Fig. 614): Herba Rutae (Pharm. helv.). — *Pilocarpus pennatifolius* und *P. Jaborandi*, baumförmige Sträucher des östlichen Brasiliens mit großen unpaarig gefiederten Blättern: Folia Jaborandi und Pilocarpinum (Pharm. germ., austr., helv.).

9. Familie ***Simarubaceae.*** K 5, C 5, A 5 + 5, G $\underline{5}$. Fruchtblätter frei. Öldrüsen fehlen. Bitterstoffe.

Officinell: *Quassia amara* (Fig. 615) (Surinam), schönblättriges kleines Bäumchen mit prächtigen Blüten, *Picrasma excelsa* (westindische Inseln), beide liefern Lignum Quassiae (Pharm. germ., austr., helv.), Bitterholz.

10. Familie ***Burseraceae.*** Holzgewächse mit Harzgängen. Steinfrüchte.

Officinell: Myrrha (Pharm. germ., austr., helv.), Harz von *Commiphora abyssinica* und *C. Schimperi*, arabisch-ostafrikanische Bäumchen. Olibanum, Weihrauch (Pharm. austr.) von *Boswellia Carteri* und *B. Bhau Dajianae* (Bäumchen derselben Heimat wie die *Commiphora*-Arten. Elemi (Pharm. austr., helv.) von *Canarium*-Arten der Philippinen.

11. Familie ***Polygalaceae.*** Kräuter oder Sträucher mit kleinen ungeteilten Blättern und dorsiventralen unvollzähligen Blüten: K 5, C 3, A (8), G $(\underline{2})$. Zwei seitliche Kelchblätter kronblattähnlich. Drei Kronblätter, unteres kahnförmig. 8 Staubblätter, röhrig verwachsen; Antheren öffnen sich mit Löchern. Fruchtknoten zweifächerig aus zwei Fruchtblättern, in jedem Fache eine Samenanlage (Fig. 616—618).

Einheimisch: *Polygala vulgaris* und *P. amara*, auf Wiesen häufig; *P. Chamaebuxus*, kleiner Halbstrauch der Alpen.

Officinell: *Polygala Senega*, Nordamerika (Fig. 618), liefert Rad. Senegae (Pharm. germ., austr., helv.).

12. Ordnung. Tricoccae[30].

Neben der großen hierher gehörigen Familie der ***Euphorbiaceae*** treten die übrigen ihr angefügten kleineren völlig zurück. Gewächse von außergewöhnlich verschiedenartigem Habitus wie Kräuter, Sträucher, blattlose Stammsucculenten, Bäume mit normalen Blättern oder auch mit Blattschuppen und assimilierenden Phyllocladien, stimmen die Euphorbiaceen darin überein, daß sie eingeschlechtige, radiäre Blüten mit einfacher Blütenhülle oder ganz ohne solche besitzen. Andröceum diplostemon oder vielzählig. Vor allem sind die weiblichen Blüten durch einen oberständigen, dreicarpelligen und dreifächerigen Fruchtknoten charakterisiert, in jedem Fache 1—2 hängende Samenanlagen mit ventraler Raphe, deren Mikropyle also aufwärts und auswärts gekehrt ist, dabei meist von einem fleischigen Wulst, der Caruncula (Fig. 619), überdeckt wird. Kapselfrüchte, deren Außenwände elastisch von einer Mittelsäule zurückschnellen und so die Fächer öffnen.

Wichtige Gattungen: Während zahlreiche Euphorbiaceen bei diöcischer oder monöcischer Blütenverteilung verhältnismäßig einfachen Blütenbau zeigen, — so *Mercurialis* (Fig. 620), eine Gattung mit zwei einheimischen Vertretern, durch zweicarpelligen Fruchtknoten abweichend; *Croton*, tropische Gattung mit wichtigen officinellen Arten: *C. Eluteria* und *C. Tiglium* — ist die in vielen einheimischen Arten vertretene Gattung *Euphorbia*, Wolfsmilch, neben einigen anderen ausgezeichnet durch Vereinigung zahlreicher einfachst gebauter Blüten in sehr komplizierten Blütenständen, den Cyathien (Fig. 621 bis 624). Das Cyathium besteht aus einer nackten, langgestielten und nach unten umgewendeten weiblichen Gipfelblüte, die von mehreren Gruppen ebenfalls gestielter, auf je ein vom Stiel abgegliedertes Staubblatt beschränkter, männlicher Blüten umgeben wird. In einigen Fällen ist die weibliche Einzelblüte und jede männliche Blüte mit eigenem kleinem Perianth versehen. Stets aber wird der ganze Blütenstand, das Cyathium, durch fünf

Hüllblätter umschlossen, denen große zweihörnige Nektardrüsen an vier Grenzlinien angesetzt sind, welche den Eindruck einer Einzelblüte erhöhen. Dort wo die übergebogene weibliche Blüte herabhängt, fehlt die fünfte Drüse. Zwischen den vor je einem Hüllblatte

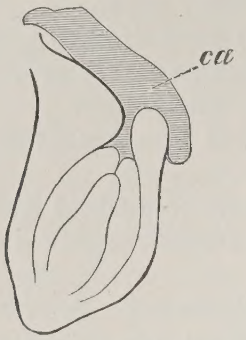


Fig. 619. Caruncula (*ca*) an der Samenanlage von Euphorbia dioica. (Nach PAX in ENGLER-PRANTL.)

Fig. 620. Mercurialis annua. $^1/_2$ nat. Gr. Männliche blühende Pflanze und Einzelblüte. Stück einer weiblichen Pflanze, Einzelblüte und Frucht. Giftig.

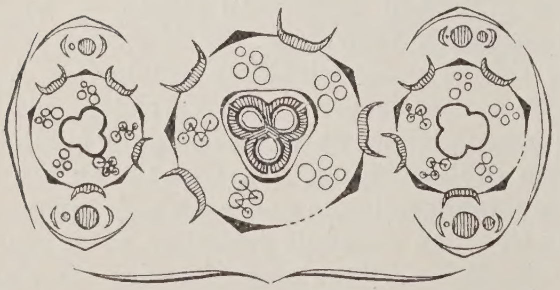


Fig. 623. Diagramm eines Dichasialzweiges von Euphorbia mit drei Cyathien. (Nach EICHLER.)

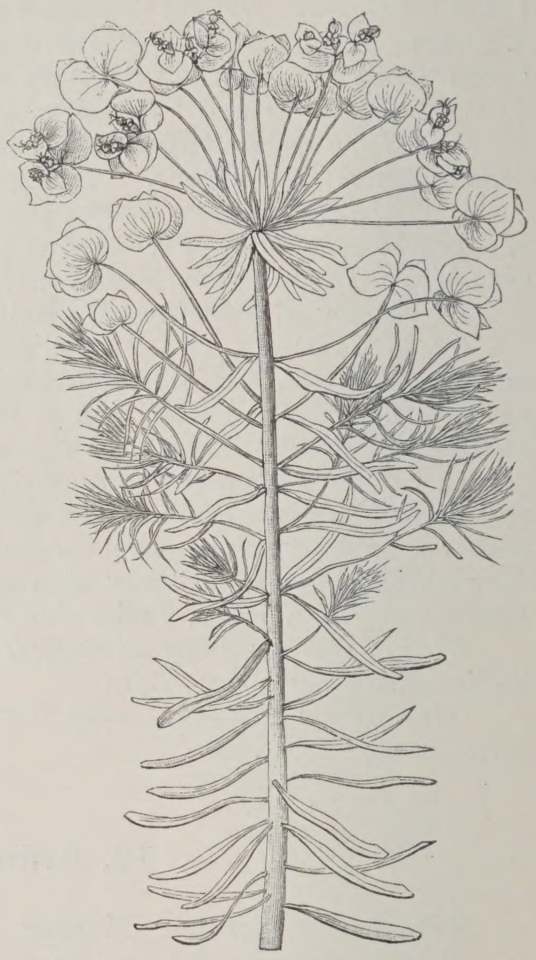


Fig. 621. Euphorbia cyparissias. $^2/_3$ nat. Gr. — Giftig.

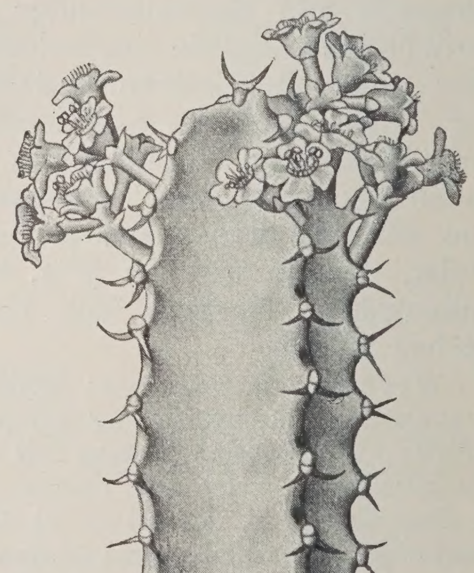


Fig. 622. Euphorbia resinifera. Nat. Gr. (Nach BERG u. SCHMIDT.) — Officinell.

(Fig. 623) stehenden Gruppen männlicher Einzelblüten sind zerschlitzte Haarbildungen auf der Inflorescenzachse vorhanden, die im Längsschnitte (Fig. 624 *B*) kenntlich werden. Solche Cyathien pflegen nun, in dichasialen Zweigen zu mehreren angeordnet, sich in drei- bis vielstrahlig-doldigen Gesamt-Inflorescenzen zu vereinigen. Häufig ist die weibliche Blüte nur in einigen Cyathien entwickelt, in den anderen rudimentär geblieben. Zahlreiche, besonders afrikanische *Euphorbia*-Arten finden sich in Form cactusähnlicher Stammsucculenten (vgl. Fig. 193, 622).

Euphorbia, wie viele andere, aber durchaus nicht alle, Angehörigen der Familie enthalten einen bei jeder Verletzung aus den ungegliederten Schläuchen reichlich ausfließenden Milchsaft, der in vielen Fällen giftig ist.

Ein wichtiger Bestandteil des Milchsaftes von *Hevea*-Arten (*H. Sieberi*, *discolor*, *rigidifolia*, *paucifolia*, *lutea*, *guyanensis*, *Spruceana*) ist der Kautschuk, welcher als Parakautschuk in den Tropen Südamerikas, speziell im Gebiet des Amazonas, gewonnen,

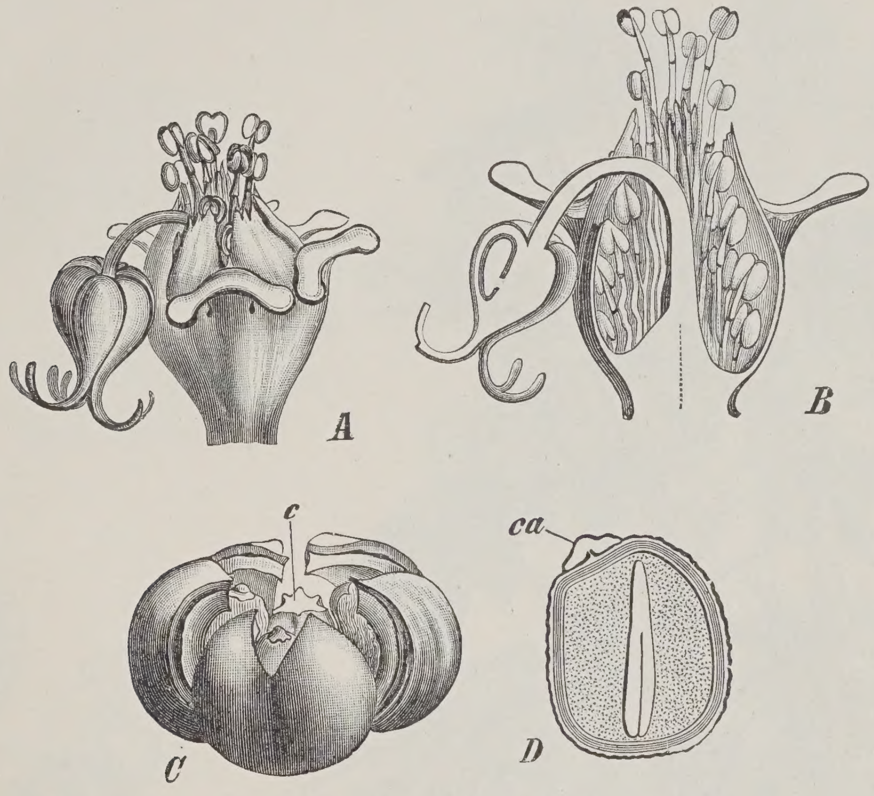


Fig. 624. Euphorbia Lathyris. *A* Cyathium, Vergr. 5. *B* Cyathium längsdurchschnitten, Vergr. 7. *C* Frucht aufgesprungen zeigt das Mittelsäulchen (*c*). *D* Samenlängsschnitt, Keimling im Endosperm, *ca* Caruncula, Vergr. 4. (*A*—*D* nach Baillon.)

etwa 50 % der Gesamtkautschukproduktion der Erde deckt. Daneben ist der von *Manihot Glaziovii*, einer ebenfalls südamerikanischen Euphorbiacee, erhaltene Cearakautschuk zu erwähnen. Eine nahe verwandte Pflanze, *Manihot utilissima*, gibt in ihren Wurzelknollen ein außerordentlich wichtiges Nahrungsmittel der Tropen ab: Maniok oder Cassave, ein Stärkemehl und Brotgetreide, dessen feinste Sorten als Tapioka oder brasilianisches Arrowroot eine Rolle im Welthandel spielen. Der in Brasilien einheimische Strauch wird jetzt überall in den Tropen kultiviert.

Ricinus communis (Fig. 625), ein hoher Strauch des tropischen Afrika, in unserem Klima alljährlich erfrierend. Der hohle Stamm ist an den massiven Knotenstellen mit langgestielten mächtigen schildförmigen, handförmig eingeschnittenen Blättern besetzt. Inflorescenzen (Fig. 626) stehen terminal, werden jedoch durch vegetative Seitensprosse überholt. Unten männliche Blüten mit häutigem, vier- bis fünfblättrigem Kelch und bäumchenartig verzweigten Staubblättern. Jede letzte Endigung trägt eine Theca. Darüber weibliche Blüten mit 3—5 Kelchblättern, einem großen dreiteiligen Fruchtknoten, der außen mit warzigen Stacheln übersät ist und in drei große, gegabelte, rote Narben ausläuft. Je ein gefleckter Samen mit weißer Caruncula in jedem Fache.

Officinell: Euphorbium (Pharm. germ., austr., helv.) von *Euphorbia resinifera* (Marokko) (Fig. 622). Cortex Cascarillae (Pharm. germ., austr., helv.) von *Croton Eluteria* (Bahama-Inseln). Oleum Crotonis (Pharm. germ., austr., helv.) von *Croton Tiglium* (Ostindien). Kamala (Pharm. germ., austr., helv.), Drüsenhaare der Fruchtkapsel von *Mallotus philippinensis* (ostasiatische Tropen). Oleum Ricini (Pharm. germ., austr., helv.) von *Ricinus communis* (Fig. 625, 626). Cautschuc von *Hevea*-Arten und *Manihot Glaziovii.*

An die Euphorbiaceen schließt sich die kleine Familie der ***Callitrichaceae*** an, Wasserpflänzchen mit nackten, eingeschlechtigen Blüten, 1 Staubblatt, 1 Fruchtblatt.

Fig. 625. Ricinus communis. Stark verkl. (Nach BAILLON.) — Giftig und officinell.

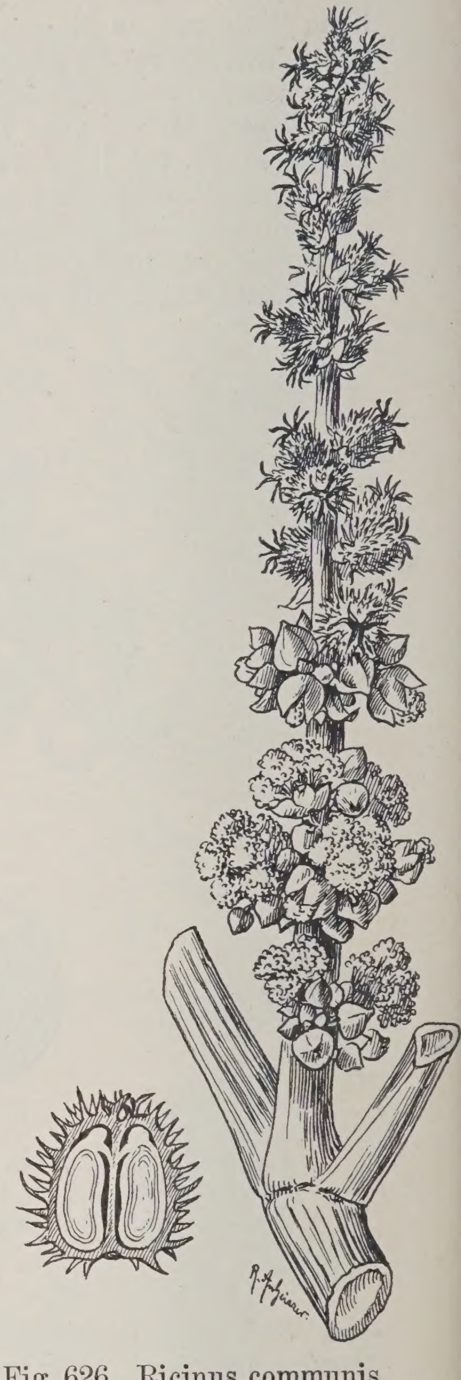


Fig. 626. Ricinus communis. Blütenstand. $^1/_2$ nat. Gr. Junge Frucht längsdurchschnitten, zeigt die hängenden Samenanlagen mit der Caruncula am Scheitel. — Officinell.

13. Ordnung. Sapindinae.

Die Ordnung begreift Bäume und Sträucher sehr verschiedenartigen Aussehens in sich, deren Blüten wirtelig gebaut sind, im Perianth, Andröceum oder Gynöceum Reduktionen erlitten haben und in jedem Fruchtknotenfache 1—2 Samenanlagen führen. Sind diese hängend, so ist die Raphe dorsal

(also umgekehrt gegenüber den Euphorbiaceen), bei aufsteigenden Samenanlagen dagegen ventral.

1. Familie ***Buxaceae.*** *Buxus sempervirens*, Buchsbaum, giftiger immergrüner Strauch des südlichen und westlichen Europa mit sehr festem Holz. Blütenstände Köpfchen aus einer dreizähligen weiblichen Gipfelblüte und mehreren vierzähligen männlichen Blüten, die einzeln in den Achseln kleiner dekussierter Hochblättchen stehen.

2. Familie ***Anacardiaceae.*** In den Tropen und warmtemperierten Gebieten ausgebreitete Familie. Fruchtknoten 1—3 carpellig. Meist einsamige Steinfrüchte. Schizogene Harzgänge. *Mangifera indica*, wichtiger Fruchtbaum der Tropen. *Rhus*-Arten liefern japanischen Firnis. *R. toxicodendron*, kletternder Strauch Nordamerikas, äußerst giftig.

Fig. 627. Blütendiagramm von Ilex Aquifolium. ☿ (Nach EICHLER.)

Fig. 628. Blütendiagramm von Evonymus europaea. (Nach EICHLER.)

Fig. 629. Evonymus europaea. *A* blühender Zweig, verkl. *B* Blüte, vergr. *C*, *D* Frucht, *D* von E. latifolia, nat. Gr. (*B*—*D* nach ENGLER-PRANTL.) — Giftig.

Pistacia-Arten des Mittelmeergebietes mit gefiederten Blättern. *P. vera*, kultiviert wegen ihrer Steinfrüchte, der Pistazien.

Officinell: Mastix (Pharm. austr.) von *Pistacia Lentiscus.*

3. Familie ***Aquifoliaceae.*** *Ilex aquifolium*, Stechpalme, immergrüner Strauch bis Baum des westlichen Europa (Fig. 627). K 4, C 4, A 4, G ($\underline{4}$). Eine hängende Samenanlage in jedem Fache. *I. paraguariensis* im extratropischen Südamerika liefert Paraguaytee = Mate.

4. Familie ***Celastraceae.*** *Evonymus europaea*, Pfaffenhütchen (Fig. 628, 629), ein an Wegrändern nicht seltener einheimischer Strauch mit unscheinbaren Blüten: K 4, C 4, A 4, G ($\underline{4}$). Staubblätter sind einem großen Discus am Rande eingefügt; 2 Samenanlagen in jedem Fache. Hochroter Arillus macht die nach Aufspringen ihrer mattroten Kapsel am Funiculus hängenden und aus den Früchten hervorschauenden Samen des Strauches im Herbste auffallend.

5. Familie ***Aceraceae.*** Bäume mit gegenständigen Blättern. Blüten neigen zur

Eingeschlechtigkeit durch Fehlschlagen. Discus intra- oder extrastaminal. Zwei Fruchtblätter. Geflügelte Spaltfrüchte (Fig. 630).

Einheimisch: *Acer campestre, A. platanoides, A. Pseudoplatanus.* Die charakteristische gelappte Umrißform und handförmige Nervatur der Ahornblätter lassen die Gattung meist leicht erkennen.

Fig. 630. Acer Pseudoplatanus. $1/2$ nat. Gr. *1* Zweig mit terminaler, hängender Blütenrispe. *2* Männliche, *3* weibliche Einzelblüte. *4* Früchte. *2* u. *3* vergr.

6. Familie ***Sapindaceae.*** Tropische Bäume oder Sträucher, deren meist schrägdorsiventrale Blüten einen extrastaminalen Discus führen.

Officinell: Guarana (Pharm. austr., helv.) aus den zerquetschten Samen von *Paullinia cupana*, einer Liane des tropischen Brasiliens, hergestellte trockene Masse.

7. Familie ***Hippocastanaceae.*** Den Sapindaceen nahestehend. *Aesculus*, Roßkastanie, *Aesc. Hippocastanum*, weiße Roßkastanie, Gebirgsbaum des östlichen Mittelmeeres (Fig. 450 *B*), *Aesc. Pavia*, rote Roßkastanie, aus den Gebirgen des atlantischen Nordamerika; beide häufig kultiviert.

14. Ordnung. Frangulinae.

Sträucher oder Bäume mit unscheinbaren, strahligen, vier- bis fünfzähligen Blüten. Nur ein Staubblattkreis, vor den Kronblättern. Fruchtknoten ober- bis mittelständig, gefächert. Zwei bis vier Fruchtblätter mit je ein bis zwei aufrechten Samenanlagen in jedem Fach. Discus intrastaminal.

1. Familie ***Rhamnaceae***. Die einzige einheimische Gattung dieser in den Tropen verbreiteten Familie ist *Rhamnus*.

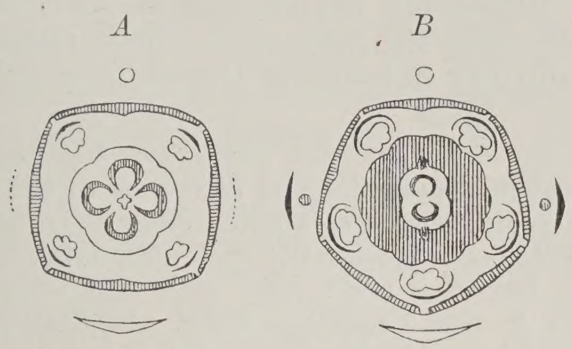


Fig. 631. Blütendiagramme. *A* von Rhamnus cathartica (hermaphrodit gedacht), *B* von Rh. Frangula. (Nach Eichler.)

Fig. 632. Rhamnus Frangula. Blüte längsdurchschnitten. *a* Blütenbecher, *b* Kelch, *c* Kronblatt, *d* Staubblätter, *e* Fruchtknoten. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.)

Fig. 633. Rhamnus Frangula. $1/2$ nat. Gr. Blühender Zweig und Zweigstückchen mit Früchten.

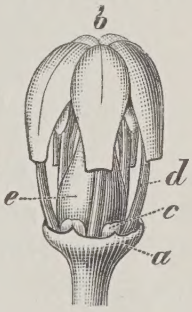


Fig. 634. Vitis vinifera. Öffnung der Blüte, *a* Kelch, *b* Krone, *c* Discus, *d* Staubblätter, *e* Fruchtknoten. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.)

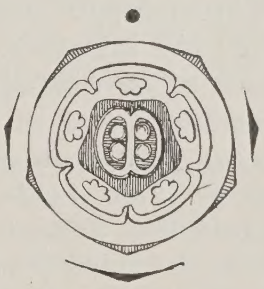


Fig. 635. Blütendiagramm von Ampelopsis hederacea. (Nach Eichler.)

Rh. Frangula, Faulbaum (Fig. 631—633), an Wegrändern häufiger Strauch mit wechselständigen ganzrandigen Blättern, kleinen Nebenblättern. Blüten in Gruppen oder einzeln, blattachselständig. K5, C5, A5, G(2). Blütenachse schüsselförmig, als Discus ausgebildet. Zwei (seltener drei) Fruchtblätter mit ungeteilter Narbe. Steinfrüchte mit zwei bis drei Samen. Holz früher zur Schießpulverfabrikation verwendet. *Rh. cathartica*

Kreuzdorn, an ähnlichen Orten wie der Faulbaum verbreitet. Zweige meist dornig mit gegenständigen Blättern. Blattrand gesägt. Blüten durchweg vierzählig, durch Fehlschlagen diöcisch; weibliche mit vier freien Griffeln und viersamigen Steinfrüchten. Samen mit dorsaler Rinne. *Colletia spinosa* mit stielrunden, *C. cruciata* mit seitlich abgeflachten Dornen; blattlose Sträucher Südamerikas.

Officinell: Fructus Rhamni catharticae (Pharm. germ.), Cortex Frangulae (Pharm. germ., austr., helv.), Cortex Rhamni Purshianae (Pharm. austr., helv.) = Cascara sagrada aus Nordamerika.

2. Familie ***Vitaceae***(31). Mit Ranken kletternde Sträucher, deren Blätter handförmig gelappt oder geteilt sind. Blüten mit oberständigem, zwei- bis viercarpelligem und entsprechend gefächertem Fruchtknoten. Zwei Samenanlagen in jedem Fache. Discus häufig aus getrennten Drüsen bestehend (Fig. 634 u. 635).

Wichtige Gattungen: *Vitis*, kletternde Sträucher der nördlichen Halbkugel. *Vitis vinifera*, Weinrebe, alte Kulturpflanze in zahlreichen Rassen und Varietäten verbreitet. Ranken sind Sprosse, sie stehen blattgegenständig; sind ursprünglich endständig, aber durch einen Achselsproß zur Seite gedrängt. Aufbau der Sprosse demnach sympodial. Entwicklungsgeschichtlich ist das ursprüngliche Verhalten nicht mehr ganz nachweisbar, sondern Ranke und Achselsproß teilen sich in den Vegetationskegel. Blütenstände rispig, an Stelle von Ranken; Zwischenbildungen beider häufig. Kelch nur in Form eines kurzen Randes. Krone beim Öffnen der Blüte abgeworfen.

Korinthen = samenlose Früchte der *Vitis vinifera* var. *apyrena*. *Ampelopsis*-Arten in Nordamerika und Asien verbreitet, sogen. wilder Wein, z. T. mit Haftscheiben kletternd (Fig. 227, S. 235). *Cissus*, große auf die Tropen beschränkte Gattung.

Officinell: Vinum (Pharm. germ., austr., helv.).

15. Ordnung. Columniferae.

Das wesentliche Merkmal der Ordnung liegt im Andröceum der regelmäßig fünfzähligen, strahligen Zwitterblüten. Einer, meist der äußere, der beiden Staubblattwirtel schlägt fehl und ist unterdrückt oder nur staminodial vorhanden, während der andere eine mehr oder minder große Vermehrung seiner Glieder durch Spaltung erfährt. Vielfach geht eine Verwachsung der Filamente daneben her. Auch die Fruchtblätter zeigen bisweilen Vermehrung durch Verzweigung. Der oberständige Fruchtknoten ist entsprechend gefächert.

1. Familie ***Tiliaceae***. Meist Bäume oder Sträucher, seltener Stauden mit einfachen gestielten Blättern und hinfälligen Nebenblättern. Kelch freiblättrig, Knospenlage von Kelch und Krone klappig. Staubblätter völlig frei voneinander mit introrsen Antheren; $A5 + 5$ oder nur der innere Kreis vorhanden und meist gespalten (Fig. 636). Fruchtknoten $2-\infty$ fächerig mit $1-\infty$ Samenanlagen in jedem Fache. Griffel einfach.

Gattungen meist tropisch. Darunter die krautigen, Jute liefernden *Corchorus*-Arten. Einheimisch nur *Tilia*, Linde, in zwei Arten. Stattliche Bäume mit zweizeilig geordneten langgestielten Blättern und leicht abfallenden Nebenblättern. Die Blätter sind asymmetrisch, ihr Rand ist gesägt. Blütenstände (Fig. 637 *A*) mit einem als Flugblatt ausgebildeten Vorblatte bis zur halben Länge verwachsen. Ein zweites, ganz am Grunde befindliches Vorblatt birgt die fürs nächste Jahr bestimmte Knospe in der Achsel. Der Gipfelblüte gehen drei weitere hinfällige kleine Hochblättchen vorauf, deren unterstes steril bleibt, während die beiden oberen Einzelblüten hervorbringen, jede mit zwei Vorblättchen versehen, die als Tragblättchen für weitere Verzweigung dienen. Doldig scheinende Inflorescenz der Linden also aus Dichasien zusammengesetzt; großblättrige Linde mit drei bis sieben, die kleinblättrige dagegen mit etwa elf oder mehr Einzelblüten im Blütenstande. Der behaarte Fruchtknoten enthält zwei Samenanlagen in jedem seiner fünf Fächer, eine davon verdrängt alle übrigen (Fig. 637 *B*).

Officinell: Flores Tiliae (Pharm. germ., austr., helv.) von *T. ulmifolia* wie *T. platyphyllos.*

2. Familie ***Sterculiaceae***(32). Tropische Kräuter, Sträucher oder Bäume mit einfachen Blättern und hinfälligen Nebenblättern. Blüten mit verwachsenblättrigem Kelch. Krone in der Knospe gedreht. Staubblätter zu einer Röhre verwachsen, die kelchständigen staminodial, die Kronstaubblätter oft durch Spaltung vermehrt. Antheren extrors.

Wichtige Gattungen: Vor allem zu nennen ist hier der Kakaobaum, *Theobroma Cacao* (Fig. 638 u. 639). Im tropischen Central- und Südamerika einheimisch, dort seit langer Zeit in Kultur. Bei stetig steigendem Bedarf ist der Anbau des Baumes in zahlreichen tropischen Kolonien mit mehr oder minder Erfolg versucht worden. Niedriger Baum mit kurzgestielten, steifen, brüchig-harten, einfachen Blättern von erheblicher Größe, ovaler Form und dunkelgrüner Farbe. Junge Blätter, mehr hell-rötlich, hängen wie bei

Fig. 636. Tiliaceae, Diagramm (Tilia). (Nach EICHLER.)

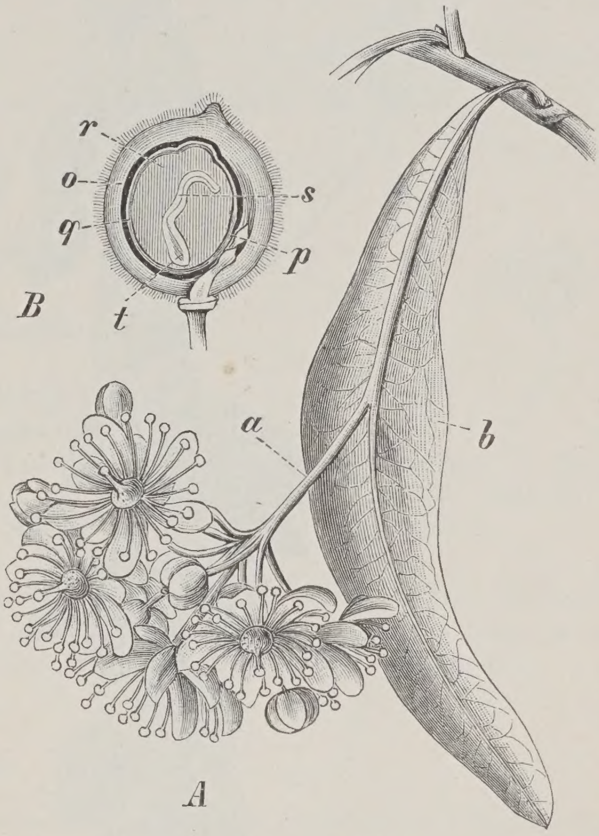


Fig. 637. Tilia ulmifolia. *A* Blütenstand, nat. Gr., *a* Inflorescenzstiel, *b* das Hochblatt. *B* Frucht, längsdurchschnitten und vergrößert, *o* Perikarp, *q* verkümmerte Scheidewände und Samenanlagen, *p* Samen, *r* Endosperm, *s* Keim, *t* Würzelchen des letzteren. (Nach BERG u. SCHMIDT.) — Officinell.

Fig. 638. Sterculiaceae. Diagramm (Theobroma). (Nach EICHLER.)

zahlreichen tropischen Bäumen schlaff herab. Blüten am Stamme oder älteren Ästen aus früher blattachselständigen, erhaltenen Knospen; der Baum ist cauliflor. Jedes Kronblatt am Grunde bauchig, verschmälert sich nach außen erheblich und endet mit verbreitertem Zipfel. So Gesamtform der rötlichen Blüten etwa urnenförmig, mit fünf auseinander strahlenden Zipfeln. Fruchtknoten fünffächerig mit zahlreichen Samenanlagen in jedem Fache. Bei dem Heranwachsen der Frucht drängen sich die erweichenden Gewebemassen der Querwände zwischen die einzelnen Samen ein. Reife Frucht daher einfächerig, vielsamig. Kleiner, mit zwei mächtigen gefalteten, brüchigen Kotyledonen versehener Embryo füllt die Samenschale aus. — *Cola acuminata* und *C. vera* im tropischen Afrika liefern die Colanüsse, welche als Arzneimittel empfohlen werden.

Officinell: Oleum Cacao (Pharm. germ., austr., helv.) und Theobromin (Pharm. germ., helv.) von *Theobroma Cacao.*

3. Familie ***Malvaceae.*** Kräuter oder Sträucher, oft mit handförmig

gelappten Blättern und Nebenblättern, in der Jugend vielfach durch Sternhaare sammetig. Blüten mit Außenkelch, verwachsenblättrigem Kelch und in der Knospe gedrehter Blumenkrone von meist ansehnlicher Größe und auffallender Färbung. Protandrisch. Staubblätter zu einer der Krone angewachsenen Röhre verbunden, welche die Griffel umgibt, und nur oben in zahlreiche freie Enden mit je einer nierenförmigen Theca gespalten ist.

Fig. 639. Theobroma Cacao. *1* Fruchttragender Stamm, *2* blühender Ast, *3* Einzelblüte, *4* Staubblattring, *5* Staubblatt von vorne, zeigt die Antheren verdoppelt. *3*, *4* etwa nat. Gr. *5* vergr. *1*, *2* stark verkleinert. — Officinell.

Pollenkörner mit stachlichter Exine (vgl. Fig. 439). Fruchtblätter meist zahlreich; Spaltfrüchte oder Kapselfrüchte (Fig. 640—643).

Wichtige Unterfamilien und Gattungen: 1. *Malveae* mit Spaltfrüchten aus zahlreichen, kreisförmig angeordneten Fruchtblättern. *Malva* mit mehreren einheimischen Arten (Fig. 642). Ausdauernde Kräuter. Blätter handnervig, langgestielt. Blüten einzeln oder in kleinen Wickeln blattachselständig. Drei freie Außenkelchblätter. Kronblätter tief ausgerandet, meist rosa gefärbt. *Althaea*, ganze Pflanze dicht mit Sternhaaren bekleidet, sammetig weich. Sechs bis neun am Grunde verwachsene Blätter im Außenkelch. 2. *Hibisceae*, Kapselfrüchte aus meist fünf Carpellen mit entsprechender Zahl von Fächern.

Hibiscus, häufig als Zierpflanze kultiviert. *Gossypium*, Sträucher mit drei- bis fünfzipfligen, langgestielten Blättern. Blüten mit drei großen, die Knospen völlig verdeckenden Außenkelchblättern. Früchte drei- bis fünfcarpellig, fachspaltig. Samen mit dichtem Filz langer Flughaare, die abgerupft und gereinigt Baumwolle darstellen. Wichtigste Arten *G. barbadense*, *arboreum*, *herbaceum*.

Officinell: Folia Malvae (Pharm. germ., austr., helv.) von *Malva neglecta* und

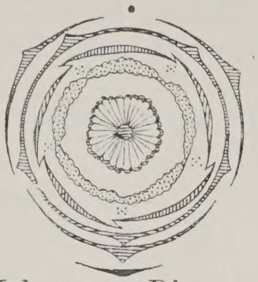


Fig. 640. Malvaceae. Diagramm (Malva).

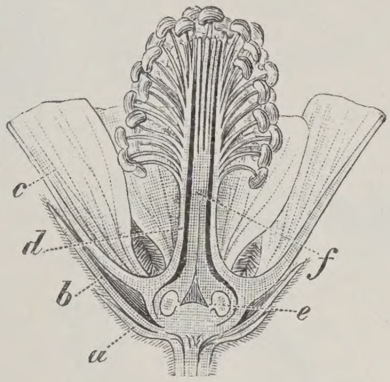


Fig. 641. Althaea officinalis. Längsdurchschnittene Blüte mit teilweise abgeschnittenen Kronblättern, *a* der Außenkelch, *b* der Innenkelch, *c* die Kronblätter, *d* das Andröceum. *f* der Griffel, *e* die Samenanlagen. (Nach Berg u. Schmidt.) — Officinell.

Fig. 642 Malva silvestris. *a* Blüte, *b* Blütenknospe, *c* Frucht. Nat. Gr. — Officinell.

M. silvestris. Flores Malvae (ibidem) von *M. silvestris* (Fig. 642). Folia Althaeae und Radix Althaeae (Pharm. germ., austr., helv.) von *Althaea officinalis*; Gossypium (Pharm. germ., helv.) von *Gossypium arboreum*, *barbadense*, *herbaceum* (Fig. 643).

16. Ordnung. Cistiflorae.

Die Angehörigen dieser Ordnung sind durch meist regelmäßig fünfzählige Blüten, durch Spaltung vermehrte oder, bei unvollständiger Trennung, bündelig verwachsene Staubblätter und einen meist dreizähligen oberständigen Fruchtknoten gekennzeichnet.

1. Familie ***Ternströmiaceae.*** Kräuter, Sträucher oder Bäume mit wechselständigen, einfachen, lederigen Blättern. Blüten regelmäßig, mit dachziegeliger Knospendeckung im Perianth, bisweilen ohne scharfe Trennung des Kelches von der Krone. Staubblätter zahlreich, Fruchtknoten gefächert. *Thea chinensis* (Fig. 644), kleiner, in Südchina einheimischer, immergrüner Baum oder Strauch, dessen junge Blätter und Zweigspitzen nach Trocknung und Fermentation Tee liefern. In China, Japan, wie in vielen tropischen Kolonien in großem Maßstabe kultiviert. *Thea japonica*, Kamelie, beliebter Zierstrauch.

Officinell: Folia Theae (Pharm. austr.) von *Th. chinensis*.

2. Familie ***Guttiferae.*** Kräuter, Sträucher oder Bäume mit gegenständigen, einfachen, ganzrandigen Blättern. Blüten bisweilen diklin. Staubblätter bündelweise beisammen. Schizogene Sekretbehälter in allen Teilen. Einheimisch: *Hypericum* mit mehreren Arten. Staubblätter in drei oder fünf Bündeln (Fig. 645). Öldrüsen der Blätter durchscheinend. *Garcinia Mangostana*, Mangostane, geschätzter Obstbaum der asiatischen Tropen.

Officinell: *Garcinia Hanburyi*, Baum Hinterindiens mit dicken Lederblättern und

diklinen Blüten. Männliche, mit zahlreichen, an kurzer, kopfförmiger Achse sitzenden Staubblättern, weibliche mit drei- bis mehrcarpelligem Fruchtknoten von breit schildförmigen Narben gekrönt. Der rote, bei Verletzungen austretende Inhalt der Sekretschläuche liefert eingetrocknet Gummigutt oder Gutti (Pharm. germ., helv.).

3. Familie ***Dipterocarpaceae.*** Ebenfalls Sekretbehälter führend. Charakterisiert durch starke Vergrößerung aller oder einiger Kelchblätter nach der Befruchtung. *Dryobalanops Camphora* liefert den Borneokampfer.

Officinell: *Shorea Wiesneri*: Dammar (33) (Pharm. germ., austr.).

Fig. 643. Blütenzweig und aufgesprungene Frucht von Gossypium herbaceum. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell.

4. Familie ***Cistaceae.*** Ausdauernde Kräuter oder Sträucher mit gegenständigen, einfachen Blättern und Nebenblättern. Fünfzählige, regelmäßige Blüten mit zahlreichen Staubblättern und drei oder fünf Fruchtblättern, die zu einem ein- oder mehrfächerigen Fruchtknoten mit einfachem Griffel zusammentreten. Einheimisch: das Sonnenröschen, *Helianthemum vulgare*: niederliegende kleine Stämmchen mit kleinen elliptischen ungestielten Blättchen und leuchtend gelben Blütentrauben (Fig. 646 u. 647). *Cistus* in vielen Arten Charaktersträucher in den Maquis der Mittelmeerländer.

5. Familie ***Violaceae.*** Kräuter, Sträucher oder Bäume mit meist dorsiventralen Blüten und nur fünf Staubblättern. Fruchtknoten einfächerig mit einfachem Griffel. Einheimisch nur *Viola*, das Veilchen, in verschiedenen Arten. Die Blüten besitzen ein gesporntes vorderes Kronblatt. In den Sporn ragen die beiden vorderen Staubblätter mit Nektar

absondernden Fortsätzen hinein. Viele *Viola*-Arten führen merkwürdigerweise neben diesen auf Insektenbestäubung eingerichteten, ansehnlichen Blüten, unscheinbare kleistogame mit Selbstbestäubung.

Fig. 644. Thea chinensis. Blühender Zweig. $^{2}/_{3}$ nat. Gr. Frucht und Samen. — Officinell.

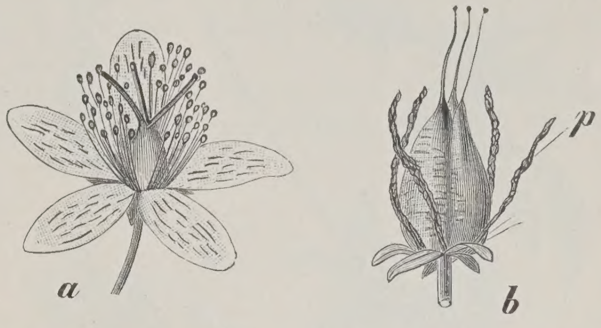


Fig. 645. Hypericum tetrapterum. *a* Blüte, etwas vergrößert, *b* Frucht. Vergr. 2. *p* die vertrockneten Petala.

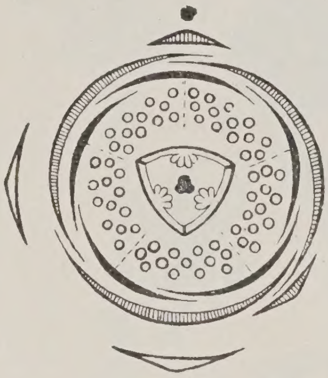


Fig. 646. Blütendiagramm von Helianthemum vulgare (Cistaceae). (Nach EICHLER.)

Fig. 648. Diagramm von Viola.

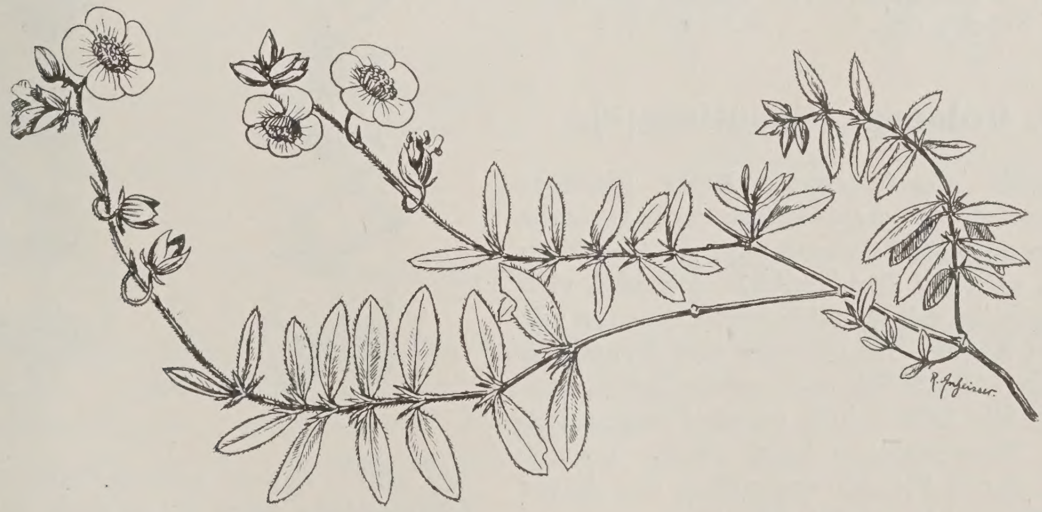


Fig. 647. Helianthemum vulgare. $^{1}/_{2}$ nat. Gr.

Officinell: Herba Violae tricoloris (Pharm. germ., austr., helv.) von *Viola tricolor*, Stiefmütterchen (Fig. 649); durch fiederspaltige große Nebenblätter, die den Blättern selbst an Größe kaum nachstehen, ausgezeichnet.

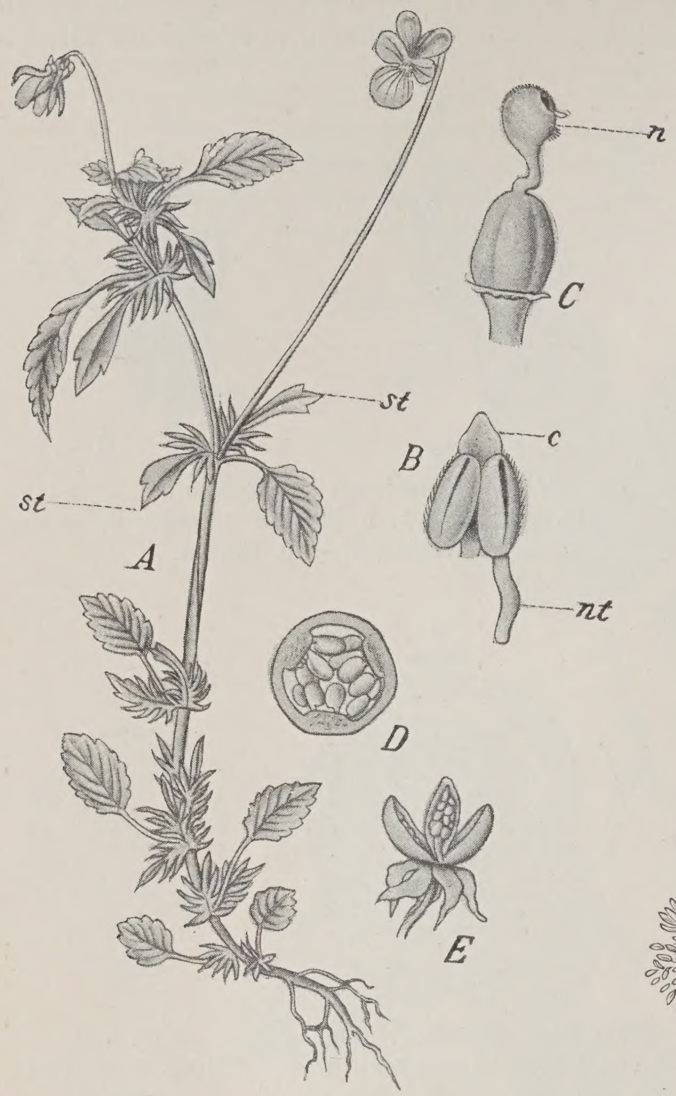


Fig. 649. Viola tricolor. *A* Ganze Pflanze, verkl., *st* Nebenblätter. *B* Staubblatt, vergr., *c* Konnektiv, *nt* Nektarium. *C* Gynöceum, vergr., *n* Narbe. *D* Fruchtknoten im Querschnitt vergr. *E* Frucht, nat. Gr. — Officinell.

17. Ordnung. Passiflorinae.

Blüten radiär, Fruchtknoten meist mittel- oder unterständig, dreicarpellig, einfächerig mit wandständigen Placenten und meist drei gespaltenen Griffeln.

Familie ***Passifloraceae.*** Rankende Pflanzen mit großen, durch Auswüchse der Blütenachse (Nebenkrone und Discusbildungen) reich gegliederten Blüten. *Passiflora*-Arten, Passionsblumen, Zierpflanzen aus Südamerika. — Familie ***Caricaceae.*** *Carica Papaya*, Melonenbaum, enthält in seinem Milchsaft ein pepsinartiges Ferment: Papayotin. Tropen. — Familie ***Begoniaceae.*** Kräuter mit schief-herzförmigen Blättern. Blüten eingeschlechtig. Fruchtknoten unterständig. Meist Tropen. Viele *Begonia*-Arten bei uns als Zierpflanzen.

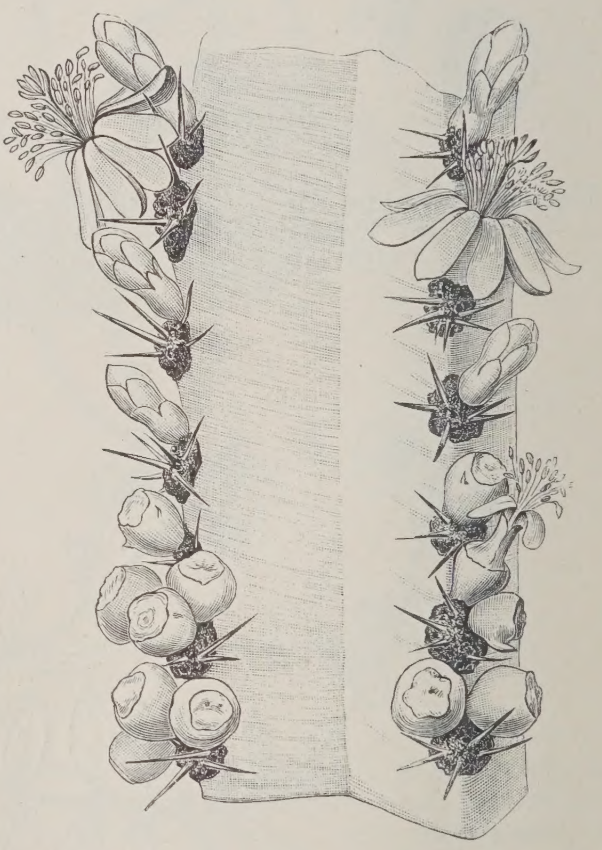


Fig. 650. Cereus geometrizans. Zwei Rippenstücke eines fünfrippigen Stammes mit Blüten und Früchten. $^3/_4$ nat. Gr.

18. Ordnung. Opuntinae(34).

Familie ***Cactaceae.*** Meist blattlose Stammsucculenten Amerikas von sehr geringen bis zu gewaltigen Dimensionen. Zwitterblüten strahlig, seltener dorsiventral. Perianth vielzählig spiralig, mit allmählichem Übergang von Kelch in Krone. Andröceum und Gynöceum vielzählig. Fruchtknoten unterständig, einfächerig mit zahlreichen wandständigen Placenten. Samenanlagen langgestielt. Beerenfrüchte, deren Fleisch wesentlich aus diesen Samenstielen hervorgeht (Fig. 650).

Peireskia und einzelne Opuntiaarten mit Blättern, andere Opuntien mit flachen Sproßgliedern. *Cereus*, *Echinocactus* mit Längsrippen, *Mamillaria* mit freien Höckern (Mamillen); die zahlreichen Dornbüschel auf den Gliedersprossen, den Rippen oder den einzelnen Mamillen, entsprechen je einem Achselsproß, dessen Tragblatt verkümmert ist, während die Blattanlagen der verbreiterten Sproßachse in Dornen umgebildet werden.

Cactaceen bilden einen Hauptbestandteil der Vegetation im regenarmen Südwesten der Vereinigten Staaten von Nordamerika und in Mexiko, auch durch Westindien und Südamerika weit verbreitet. Ihre eigenartige Gestaltung findet sich bei Euphorbiaceen und Asclepiadaceen, die unter ähnlichen klimatischen Bedingungen leben, wieder. Daneben gibt es auch zahlreiche Formen, besonders *Ripsalis-*, *Epiphyllum-* und *Phyllocactus-*Arten, die als Epiphyten leben, die Baumäste als Behang bekleiden und stellenweise den Eindruck der Vegetation erheblich beeinflussen.

Im Mittelmeergebiet verwildert: *Opuntia Ficus indica*, deren Früchte genießbar sind, wie auch zahlreiche andere Arten in ihrer Heimat als Obstbäume geschätzt werden. Einige Cactaceen, wie *Anhalonium* u. a. führen stark giftige Alkaloide und Saponine. *Opuntia-* und *Nopalea-*Arten (*Nopalea coccinellifera*) dienen zur Kultur der Cochenille-Schildlaus.

19. Ordnung. Thymelaeïnae.

Sträucher oder Bäume mit einfachen, ganzrandigen, oft dicht gedrängten Blättern. Blüten zwittrig, strahlig, vier- oder fünfzählig. Krone häufig fehlend. Staubblätter ein- oder zweiwirtelig. Ein Fruchtblatt. Fruchtknoten mittelständig mit einer Samenanlage.

1. Familie ***Thymelaeaceae.*** Samenanlage hängend. *Daphne Mezereum* (Fig. 651). Giftiger Strauch unserer Wälder, blüht im Februar bis März vor der Beblätterung aus den vorjährigen Knospen. Blüten schön rosenrot, duftend, vierzählig, ohne Krone. Blätter zunächst schopfförmig, bis die Achse sich streckt. Hochrote Beerenfrüchte. In den Alpen und im Mittelmeergebiet zahlreichere *Daphne-*Arten, die alle giftig sind.

Officinell: Cortex Mezereï (Pharm. helv.) von *D. Mezereum.*

2. Familie ***Elaeagnaceae*** mit aufrechter Samenanlage. *Hippophaë, Elaeagnus.* Blätter und junge Zweige mit glänzenden Schildhaaren bedeckt.

Fig. 651. Daphne Mezereum. 1/2 nat. Gr. — Officinell und giftig.

20. Ordnung. Myrtiflorae.

Gegenständige, der Nebenblätter entbehrende, einfache, ganzrandige Blätter; strahlige, vier- oder fünfzählige Zwitterblüten mit unterständigem, höchstens mittelständigem, gefächertem Fruchtknoten entsprechen den Myrtifloren. Vermehrung im Andröceum ist häufig.

1. Familie ***Lythraceae.*** *Lythrum Salicaria*, Weiderich. K6, C6, A6 + 6, G(2), durch trimorphe Heterostylie (S. 254) ausgezeichnet.

2. Familie ***Melastomaceae.*** Ausschließlich Tropenbewohner, die an ihren schön geformten und regelmäßig geaderten Blättern leicht kenntlich sind; beliebte Warmhauspflanzen.

3. Familie ***Onagraceae*** (35). K4, C4, A4 + 4, G(4). Andröceum obdiplostemon. Fruchtknoten unterständig (Fig. 652 u. 653).

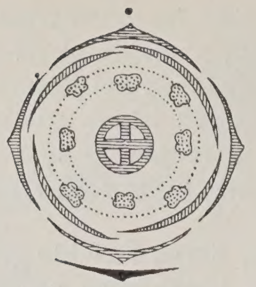


Fig. 652. Diagramm von Oenothera (Onagraceae).

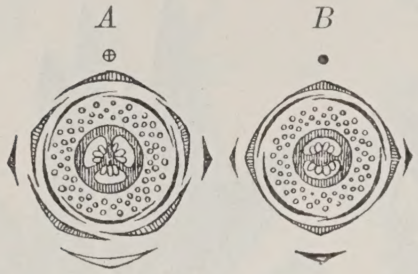


Fig. 655. Blütendiagramme von Myrtaceen. *A* von Myrtus communis, *B* von Eugenia aromatica. (Nach EICHLER.)

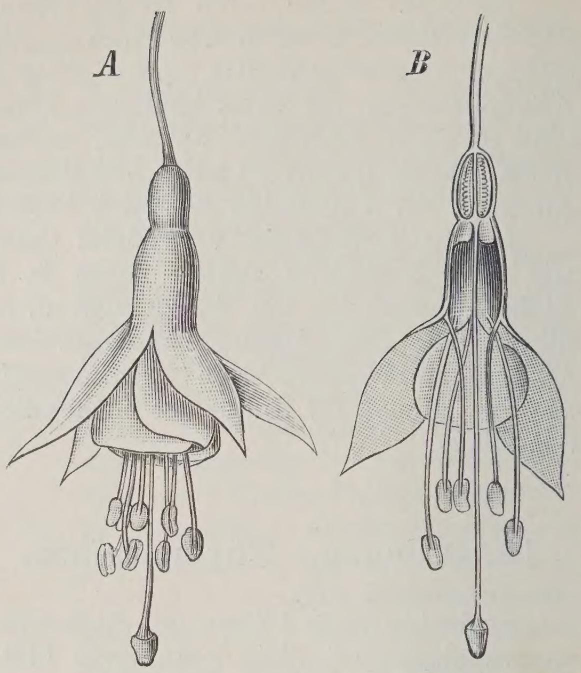


Fig. 653. Fuchsia globosa, Blüte. Nat. Gr.

Fig. 654. Rhizophora conjugata. $^1/_4$ nat. Gr.

Wichtigere Gattungen: *Epilobium*, Weidenröschen, in mehreren Arten verbreitet, hat Kapselfrüchte und Samen mit Flughaaren. *Oenothera*-Arten, deren Mutationsfähigkeit DE VRIES erkannte und zur experimentellen Begründung seiner Mutationstheorie verwertete. *Circaea*-Arten, *Trapa*, Wassernuß, alle einheimisch. Viel kultiviert Fuchsiaarten, durch kronblattartig gefärbten Kelch ausgezeichnet, in Amerika einheimisch. Beerenfrüchte.

4. Familie ***Halorrhagidaceae.*** Wasserpflanzen mit unscheinbaren kleinen Blüten. *Myriophyllum*, *Hippuris*.

5. Familie ***Rhizophoraceae*** (36). Tropische Küstenpflanzen der Mangroveformation, durch ihre, Standortseigentümlichkeiten entsprechende Viviparie, und Atemwurzeln wie Stelzwurzeln eigenartig. *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, an tropischen Meeresküsten verbreitet (Fig. 654).

6. Familie ***Combretaceae.*** *Terminalia Chebula* liefert Myrobalanen.

7. Familie ***Myrtaceae.*** Immergrüne Sträucher oder Bäume; Blätter gegenständig, lederartig, oft aromatisch. Strahlige, vier- oder fünfzählige Blüten, Andröceum vielzählig, Staubblätter häufig in Bündeln, die durch Spaltung entstehen. Fruchtblätter zwei bis viele, mit der Blütenachse zum unterständigen Fruchtknoten verwachsen. Meist Beeren oder Kapselfrüchte.

Fig. 656. Eugenia caryophyllata. 2/3 nat. Gr. Blühender Zweig. Eine Knospe halbiert und eine geöffnete Blüte daneben, etwa nat. Gr. — Officinell.

Wichtige Gattungen: *Myrtus communis*, Myrte, im Mittelmeergebiet, einzige europäische Art. Häufig angepflanzt finden sich in Italien die australischen *Eucalyptus*-Arten, besonders *E. Globulus*, welche ihres schnellen Wachstumes und brauchbaren Nutzholzes halber dem an Holz armen Lande von Wert sind. Junge Exemplare haben sitzende gegenständige Blätter, ältere Bäume aber gestielte, halbmondförmig oder sichelartig gebogene, die vertikal herabhängen. In ihrer australischen Heimat rührt die Schattenlosigkeit der Wälder teils von dieser eigenartigen Stellung der Blätter, teils von dem weiten Abstand der einzelnen Individuen her. *E. amygdalina*, gehört bei 155 m gemessener Höhe und 30 m Umfang am Grunde zu den gewaltigsten Baumriesen, die man kennt. *Psidium Guayava* und einige *Jambosa*-Arten liefern eßbare Früchte, besonders erstere sehr geschätzt. *Eugenia caryophyllata*, der Gewürznelkenbaum der Molukken (Fig. 656), gibt in den ungeöffneten Blütenknospen die „Nägelchen“ oder „Nelken“. Der Baum wird in den Tropen vielfach kultiviert. Er gewährt ein schönes Bild, sobald an den endständigen Blütenrispen die hochroten langen Knospen mit ihren vier festverwachsenen, weißen

Kronblättern zwischen dem glänzenden, ganzrandigen Laub erscheinen, und die geöffneten Blüten ihre zahlreichen, langen, weißen Staubblätter auseinander spreizen. Die Krone wird bei der Öffnung abgeworfen. Fig. 656 zeigt auch den unterständigen zweifächerigen Fruchtknoten im Längsschnitte.

Fig. 657. Punica Granatum. $^1/_2$ nat. Gr. *1* Zweig mit Blüte und Knospe, *2* Blütenlängsschnitt, zeigt zahlreiche Staubblätter und die Fruchtblätter in zwei Etagen übereinander, *3* Frucht.

Officinell: Caryophylli, Oleum Caryophyllorum (Pharm. germ., austr., helv.) von *Eugenia caryophyllata*, Folia Eucalypti (Pharm. helv.) von *Eucalyptus Globulus*, Oleum Cajuputi (Pharm. helv.) von *Melaleuca Leucadendron*, einem den Eucalypten nicht unähnlichen, wenn auch bedeutend niedriger bleibenden Baum, der auf den Molukken (Buru) zwecks Ölgewinnung kultiviert wird und seiner weißen Rinde den Beinamen verdankt.

Fig. 658. *A* Blütendiagramm von Punica granatum. (Nach EICHLER.)

8. Familie ***Punicaceae.*** Einzige Gattung: *Punica. Punica granatum*, ein aus dem Orient stammendes Bäumchen, das seiner säuerlichen, äußerst erfrischenden Früchte wegen, vielfach im Mittelmeergebiet gezogen wird (Fig. 657). Blätter klein, ganzrandig. Blüten mit steifem roten Kelch, unbestimmt vielen Kron- und zahlreichen Staubblättern. 7—14 Fruchtblätter sind in zwei Etagen angeordnet, deren obere der Kelchblattzahl, die untere ihrer Hälfte entspricht (Fig. 658). Frucht von lederiger Wand umhüllt, mit zahllosen Samen in den Fächern beider Etagen. Äußere Schichten der Samenschale fleischig; sie stellen den genießbaren Teil der Frucht dar.

Officinell: Cortex Granati (Pharm. germ., austr., helv.), Stamm- oder Wurzelrinde des Bäumchens.

21. Ordnung. Umbelliflorae.

Blütenstände in der Regel doldenförmig. Einzelblüten zwitterig, strahlig, vier- oder meist fünfzählig, mit sehr wenig entwickeltem Kelch, einem Staubblattwirtel und unterständigem, zweifächerigem Fruchtknoten, dessen obere Fläche als Nektarium dient. Zwei Fruchtblätter; jedes Fach mit einer hängenden Samenanlage. Samen mit reichlichem Endosperm.

1. Familie ***Cornaceae.*** Meist Sträucher oder kleine Bäume, sehr selten krautig. Blätter einfach, häufig in dekussierten Paaren. K 4, C 4, A 4, G $(\overline{2})$. Beeren oder Steinfrüchte.

Einheimisch: *Cornus mas*, Cornelkirsche (Fig. 659) entwickelt die kleinen Dolden gelber Blüten bereits vor Erscheinen der Blätter, jede Dolde von vier Hochblättern unterstützt. Steinfrüchte. Nächstjährige Blütenstände schon zur Zeit der Fruchtreife in den Blattachseln entwickelt; sie überdauern den Winter unter dem Schutze ihrer Hochblätter. *C. sanguinea*, häufiger Strauch. *C. suecica*, nordisches Kraut, das in Deutschland seine Südgrenze erreicht.

Fig. 659. Cornus mas. $^1/_2$ nat. Gr. *1* Blühender, *2* fruchttragender Zweig, *3* Blüte von oben, *4* Blütenlängsschnitt. *3, 4* vergr.

2. Familie ***Araliaceae.*** Bäume oder Sträucher mit wechselständigen, bescheideten Blättern von oft bedeutender Größe und einfacher, gelappter oder zusammengesetzter Form. Einzelblüten: K 5, C 5, A 5, G $(\overline{5})$ in Dolden oder Köpfchen, diese häufig zu rispenförmigen Gesamtblütenständen vereinigt. Zahl der Fruchtblätter wechselt von 2—5 oder mehr.

Einheimisch nur der wurzelkletternde Efeu, *Hedera Helix*, dessen eigentliche, elliptisch zugespitzte Blattform erst an den orthotropen Trieben älterer Pflanzen auftritt, welche alsdann auch (im Spätsommer oder Herbste) zur Blüte gelangen. Jugendliche Blattform der kriechenden oder kletternden plagiotropen Triebe gelappt und meist kürzer gestielt (Fig. 660). Kelch fünfzipfelig, den fünf Rippen des Fruchtknotens entsprechend. Krone von grünlicher Färbung; großer Discus auf der Fruchtknotenoberfläche lockt reichlichen Besuch von Bienen herbei. Früchte reifen während des Winters zu blauschwarzen Beeren, denen Amseln und andere Vögel eifrig nachstellen und so die Samen verbreiten.

3. Familie ***Umbelliferae.*** Kräuter oder Stauden von bisweilen mächtiger Größe. Der Stengel trägt wechselständige Blätter, welche ihn mit ihren oft stark entwickelten Scheiden völlig umfassen und in massive Knoten und hohle Internodien gliedern. Blätter meist reich zusammengesetzt, nur in wenigen Fällen einfach. Blütenstände gipfelständig, oft durch nächstjüngere Achselsprosse übergipfelt. Dolden oder häufiger Doppeldolden mit Stützblättern, die eine „Hülle“ resp. „Hüllchen“ bilden, oder ohne solche. Einzelblüten weiß, grünlich oder gelb, andere Farben sehr selten. K 5 (meist nur in Form kurzer Spitzen), C 5, A 5, G $(\overline{2})$. Randblüten der Doppeldolden durch Vergrößerung der auswärts gekehrten Kronblätter

bisweilen dorsiventral. Fruchtknoten stets zweicarpellig und zweifächerig, mit je einer Samenanlage, die an der medianen Scheidewand (Fugenfläche) herabhängt und ihre Mikropyle aufwärts und auswärts kehrt. Scheitelfläche

Fig. 660. Hedera Helix. $^1/_2$ nat. Gr. *1* aufrechter, blühender, *2* kriechender Sproß mit ihren betreffenden Blattformen, *3* Fruchtstand, *4* Frucht, *5* Blüte von oben, *6* Blüte von der Seite, *7* Blütenlängsschnitt. *4—7* vergr. — Giftig.

der Fruchtblätter von einem geschwollenen Nektariumpolster eingenommen, in den mehr oder minder langen Griffel mit kugeliger Narbe endend. Spaltfrucht, durch Trennung in der Fugenfläche in zwei Teilfrüchtchen zerfallend. In vielen Fällen werden die Teilfrüchtchen nach ihrer Trennung noch eine Zeitlang von dem in der Mittellinie der Scheidewand befindlichen, aus mechanisch wirksamem Gewebe bestehenden Carpophor, Fruchtträger, festgehalten, der sich von dem übrigen Gewebe der Fugenfläche loslöst und sie am oberen gegabelten Ende pendeln läßt (Fig. 661—668).

Fig. 661. Umbelliferae. Diagramm (Siler).

Für die systematische Unterscheidung sind vor allem die Früchte von Bedeutung. Jede Teilfrucht ist mit fünf Rippen ausgestattet, welche die Gefäßbündel führen. An der Fugenfläche liegen die Randrippen der beiden Teilfrüchte oft unmittelbar nebeneinander oder sind weiter entfernt; sie sind den übrigen drei Rückenrippen gleich-

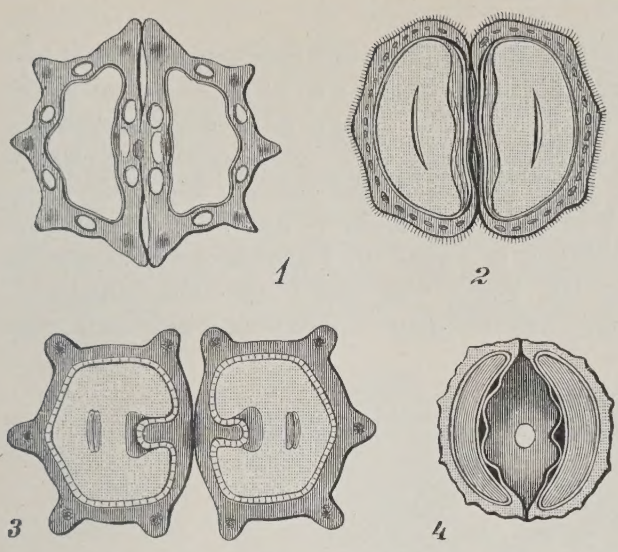


Fig. 662. Umbelliferenfrüchte im Querschnitt. *1* Foeniculum officinale. *2* Pimpinella Anisum. *3* Conium maculatum. *4* Coriandrum sativum. Vergr. (Nach BERG und SCHMIDT.) — Officinell.

Fig. 663. Carum Carvi. $^1/_2$ nat. Gr. Fruchtstand, Einzelblüte und Teilfrüchte am Carpophor. Vergr. — Officinell.

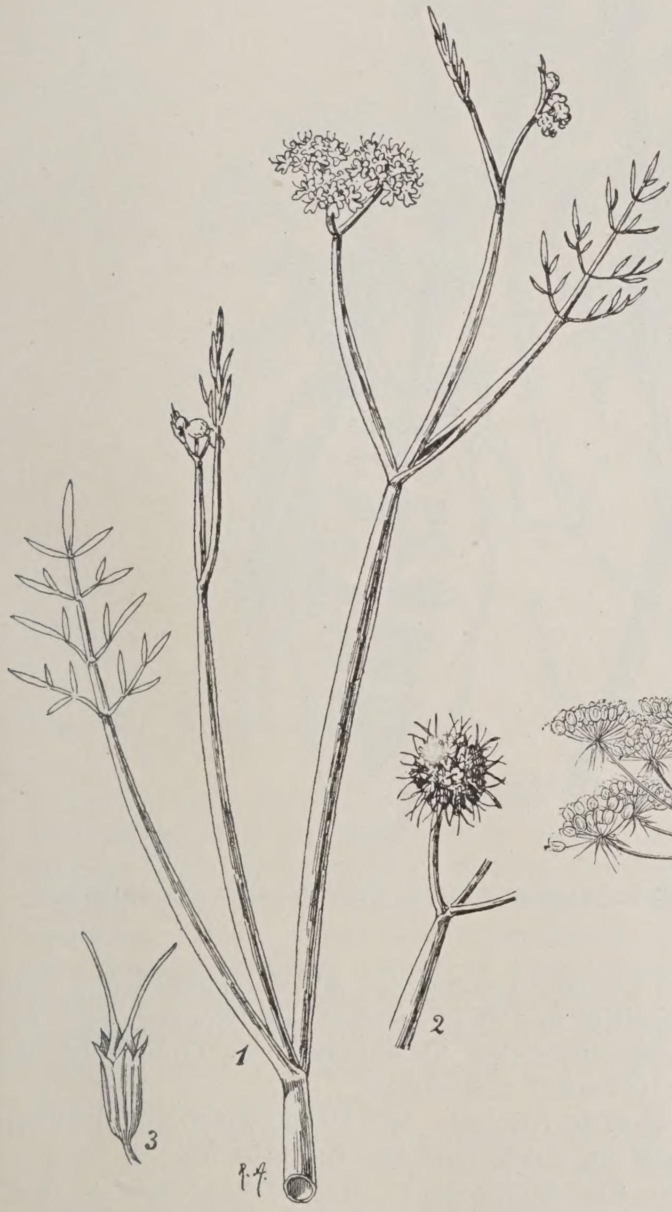


Fig. 664. *1* Oenanthe fistulosa. $^1/_2$ nat. Gr. *2* Fruchtstand. *3* Einzelfrucht. Vergr. — Giftig.

Fig. 666. Sium latifolium. $^1/_2$ nat. Gr. — Giftig.

gestaltet oder von ihnen unterschieden. Zwischen den fünf Hauptrippen finden sich bisweilen noch vier Nebenrippen. In der Regel folgt jedoch ein Tälchen auf eine Rippe und in jedem Tälchen verläuft ein großer, die Frucht der Länge nach durchziehender, als Ölstrieme bezeichneter Sekretgang. Die Fugenfläche führt beiderseits des Carpophors je eine Ölstrieme, so daß sechs davon jeder Teilfrucht zukommen (Fig. 662). Daneben finden sich bei einzelnen Formen noch anderweitige kleinere Sekretbehälter. Verschiedene Querschnittsform der Früchte, je nachdem der quer zur Fugenfläche genommene oder der in ihr liegende Durchmesser größer ist, Form von Rand- und Rückenrippen, Fehlen oder Vorhandensein von Ölstriemen oder Nebenrippen, ermöglichen eine gute und

Fig. 665. Cicuta virosa. 1/2 nat. Gr. Rhizom-Längsschnitt. Frucht vergr. — Giftig.

sichere Erkennung der Früchte; sie sind für Bestimmung der Arten unentbehrlich. Da zahlreiche Umbelliferenfrüchte als Arzneimittel und Gifte, andere als Gewürze usw. benutzt werden, ist ihre Unterscheidung von erheblicher Bedeutung. Das Endosperm der Umbelliferen-Samen hat fettes Öl als Reservestoff gespeichert.

Neueste gründliche Bearbeitung in Engler-Prantl, Nat. Pflanzenfam. von Drude; eine ganz handliche ältere Einteilung fußt auf Gestaltung des Endosperms:

1. *Orthospermae.* Endosperm an der Fugenseite flach oder schwach konvex (Fig. 662 *1*, *2*). Hierher rechnet die Hauptmasse: *Hydrocotyle*, kriechende Sumpfpflanzen mit schildförmigen ganzrandigen Blättern; Dolden einfach. *Sanicula*, *Astrantia* ebenfalls mit einfachen Dolden, letztere mit kronartig gefärbter Hülle. *Eryngium*, meist

stachelige Pflanzen mit einfachen, fast kopfförmigen Dolden; Hüllblätter oft farbig. *Bupleurum*, ganzrandige Blätter. *Pimpinella*, Bibernell. *P. Anisum*, Anis, einjährige Pflanze, deren Keimlinge die nach und nach auftretende stärkere Zerteilung der Blattspreite erkennen lassen. *Carum Carvi*, Kümmel, alte Kulturpflanze (Fig. 663). Blätter doppelt gefiedert-fiederspaltig. Unterste Fiederchen nebenblattartig. Die unteren größeren Fiederchen meist horizontal gestellt an der vertikal aufsteigenden Hauptspindel. Letzte Fiederchen einfach lineal. Gipfelständige erstblühende Dolde von den aus oberen Blattachseln entwickelten seitlichen übergipfelt. Zweijährig. *Carum Bulbocastanum* mit knolligem Rhizom ausdauernd; Keimlinge mit nur 1 Kotyledon. *Foeniculum*, Fenchel und *Levisticum*, Liebstöckl, gelbblühend, *Petroselinum*, Petersilie, *Pastinaca*, Pastinak,

Fig. 667. Aethusa Cynapium. $^2/_3$ nat. Gr. *B* Einzeldolde. *C* Frucht. Vergr. — Giftig.

Daucus, Möhre oder Carotte, *Apium*, Sellerie, Anethum, Dill, Gemüsepflanzen. *Cicuta*, Wasserschierling (Fig. 665), *Sium*, Merk (Fig. 666), *Oenanthe* (Fig. 664), *Berula*, Berle, Wasser- oder Sumpfpflanzen, *Aethusa Cynapium*, Hundspetersilie (Fig. 667) mit gekielten Fruchtrippen; sämtlich giftig. *Archangelica officinalis*, Engelswurz, bis ca. 2 Meter hohe stattliche Pflanze, deren doppelt gefiederte große Blätter sackförmige Scheiden haben; ihre grünlichen Blüten auffallend stark protandrisch; erst nach Abfall der Staubblätter kommen Griffel und Narbe zur Entwicklung. Bei *Carum*, *Oenanthe*, *Cicuta*, *Heracleum*, besonders auch den großen *Ferula*-Arten und anderen sind die Blüten durch Fehlschlag polygam oder getrennten Geschlechts, bisweilen diöcisch; den männlichen fehlt der Fruchtknoten vollkommen.

2. *Campylospermae.* Fugenseite des Endosperms von einer Längsrinne durchzogen (Fig. 662. *3*). *Scandix*, *Anthriscus*, Kerbel, Früchte geschnäbelt, *Chaerophyllum*, Kälberkropf, *Conium*. *Conium maculatum*, Schierling, zweijährige häufige Pflanze, oft von stattlicher Höhe. Völlig unbehaart. Stengel wie Blattstiele rotfleckig. Blätter mattgrün,

doppelt bis dreifach gefiedert-fiederteilig. Ihre äußersten Spitzen stets in einen farblosen kleinen stachelartigen Fortsatz auslaufend. Fruchtknoten mit wellig gekerbten Längsrippen, ohne Ölstriemen in den Tälchen. Ganze Pflanze von eigenartigem, unangenehmem Geruch (Fig. 668).

3. *Coelospermae.* Fugenseite des Endosperms hohl (Fig. 662 *4*). *Coriandrum sativum*, einjährige Pflanze. Blüten dorsiventral durch starke Vergrößerung der nach außen gekehrten Kelch- und Kronblätter. Früchte kugelig, Teilfrüchte fest verwachsen, mit geschlängelten, kaum vorragenden Hauptrippen und etwas schärfer markierten eraden Nebenrippen dazwischen.

Officinell: *Archangelica officinalis* liefert Rad. Angelicae (Pharm. germ., austr., helv.). — *Levisticum officinale*: Rad. Levistici (Pharm. germ., helv.). — *Pimpinella magna* und *P. Saxifraga*: Rad. Pimpinellae (ibid.). — *Imperatoria Ostruthium*: Rhizoma Imperatoriae (Pharm. helv.). — *Pimpinella Anisum*: Fructus Anisi (Fig. 662. *2*) (Pharm. germ., austr., helv.), Oleum Anisi (Anethol) (ibid.). — *Foeniculum capillaceum*: Fruct. Foeniculi (Fig. 662. *1*) und Oleum Foeniculi (ibid.). — *Carum Carvi* (Fig. 663): Fruct. Carvi und Oleum Carvi (ibid.). — *Coriandrum sativum*: Fruct. Coriandri (Fig. 662. *4*) (Pharm. austr.). — *Petroselinum sativum*: Fruct. Petroselini (Pharm. helv.). — *Conium maculatum* (Fig. 668): Herba Conii (Pharm. germ., austr.), Fructus Conii (Fig. 662. *3*) (Pharm. helv.). — *Dorema Ammoniacum* (Persien): Ammoniacum (Pharm' germ., austr.). — *Ferula galbaniflua* und andere Arten (Persien): Galbanum (Pharm. germ., austr., helv.). — *Ferula Narthex* (Tibet) und *F. Asa foetida* (Persien): Asa foetida (ibid.).

Fig. 668. Conium maculatum. 1/2 nat. Gr. — Officinell und giftig.

22. Ordnung. Hysterophyta.

Eine hauptsächlich parasitische Pflanzen umfassende Ordnung von provisorischer Zusammenstellung.

1. Familie ***Aristolochiaceae.*** Nicht parasitische Kräuter und schlingende Sträucher mit herzförmigen einfachen Blättern. Blüten mit einfachem, verwachsenem Perianth. Andröceum und Gynöceum zum Gynostemium vereinigt. P 3, A 6 + 6, G $(\overline{6})$. Unterständiger Fruchtknoten, gefächert. Kapselfrucht.

Einheimisch: *Asarum europaeum* mit strahligen Blüten. *Aristolochia Clematitis* (Fig. 669) mit dorsiventralen, protogynen Blüten, deren Bestäubung durch kleine Fliegen

vermittelt wird (vgl. Fig. 237, S. 255). Aufrechtes Kraut mit großen wechselständigen Blättern, die zahlreiche Einzelblüten in den Achseln tragen.

2. Familie ***Santalaceae***(37). Grüne, im Boden wurzelnde Parasiten, die benachbarten Wurzeln anderer Pflanzen durch Haustorien Nährstoffe entziehen. *Thesium*-Arten einheimisch.

Officinell: Oleum Santali (Pharm. germ., austr., helv.) aus dem Holze von *Santalum album* durch Destillation gewonnen. Holz für Kunsttischlerei geschätzt.

Fig. 669. Aristolochia Clematitis. $^1/_2$ nat. Gr. (rechts eine der Länge nach halbierte Blüte).

3. Familie ***Loranthaceae***(38). Auf Baumästen lebende, belaubte, parasitische Sträucher, die besonders in den Tropen häufig sind und z. B. im tropischen Amerika durch die Farbenpracht ihrer Blüten zu Zeiten einen prächtigen Anblick gewähren.

Einheimisch: Der seltene *Loranthus europaeus* auf Eichen; *Viscum album* (Fig. 670), die Mistel, häufiger immergrüner Parasit auf den verschiedensten Bäumen. Gegenständige, umgekehrt eiförmige Blätter. Stamm knotig gegliedert. Die Blüten öffnen sich im ersten Frühjahr, sie sind diklin und diöcisch, meist zweigliederig, und stehen in wenig (2—5) zähligen dichasialen Blütenständen. Weiße Beerenfrüchte reifen im Laufe des Winters (Dezember bis März) und werden von Vögeln verzehrt. Vermöge einer Viscinschicht der Fruchtwandung haften mit dem Schnabel abgestrichene Samen leicht am Zweige, auf dem die

Wurzel bei der Keimung sich zu einer Haftscheibe ausbreitet. Aus ihrer Mitte treibt ein der Wurzelhaube entbehrender „Senker" durch die Rinde bis ans Holz, in das er nicht eindringen kann. Seiner Basis entspringen Seitenwurzeln, die in der Rinde weiterwachsen und sekundäre Senker aussenden. Die Scheitel der Senker werden vom Jahreszuwachs des Holzes umwallt. Umwandlung in Dauergewebe beginnt am Scheitel, während die dem jeweiligen Cambium des Wirtes entsprechende Region den Zuwachs vermittelt.

Fig. 670. Viscum album. $^1/_2$ nat. Gr. Mit Blüten und Früchten.

4. Familie ***Rafflesiaceae***(39). 5. Familie ***Balanophoraceae***(40). Chlorophyllfreie Parasiten mit sehr reduzierten, auf Haustorien beschränkten Vegetationsorganen und oft sehr großen Blüten (Rafflesia), oder mächtigen Blütenständen mit zahlreichen kleinen Einzelblüten. Fast durchweg Tropenbewohner.

Rafflesia Arnoldi (Sumatra) mit 1 Meter Blütendurchmesser, die größte aller bekannten Blüten. *Balanophora*-Arten vielfach apogam.

2. Reihe. Sympetalae (15).

Perianth in Kelch und Krone geschieden, Krone verwachsenblätterig. Blüten ohne Ausnahme wirtelig, meist fünfzählig. Man kann 2 Untergruppen der Sympetalen unterscheiden: A. Pentacyclicae, Blüten mit 5 Wirteln, also: K 5, C (5), A 5 + 5, G (5) in regelmäßig alternierender Stellung. B. Tetracyclicae, durch Ausfall des inneren Staubblattkreises, von dem keine Spur erhalten ist, vierwirtelige Blüten, also: K 5, C (5), A 5, G (5) in regelmäßig alternierender Stellung oder häufiger G (2) durch Reduktion der Fruchtblattzahl.

A. Pentacyclicae.

1. Ordnung. Ericinae [41].

Pflanzen mit strahligen Blüten, deren Andröceum obdiplostemon und nicht mit der Krone verwachsen ist. Pollenfächer mit „Exothecium“. Pollen häufig in Tetraden. Fruchtknoten meist oberständig, gefächert.

1. Familie ***Ericaceae.*** Immergrüne Sträucher oder Halbsträucher mit kleinen, häufig nadelförmigen Blättchen. Antheren durch Poren oder Spalten sich öffnend, oft mit hornförmig abstehenden Anhängen (daher Bicornes genannt) versehen. Kapsel-, Beeren- oder Steinfrüchte. Samen endospermreich, mit entwickeltem Embryo (Fig. 671, 672).

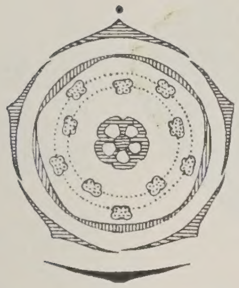


Fig. 671. Diagramm von Vaccinium (Ericaceae).

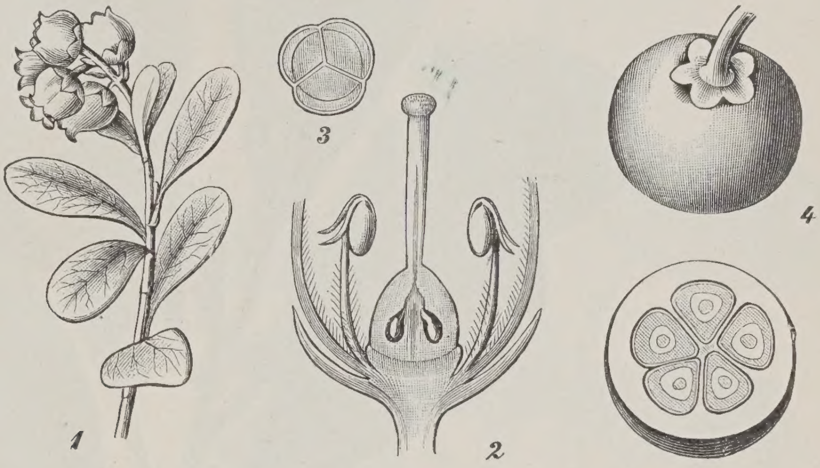


Fig. 672. Arctostaphylos Uva ursi. *1* blühender Zweig. *2* Blüte im Längsschnitt. *3* Pollentetrade. *4* Frucht. *5* Fruchtquerschnitt. *2—5* vergr. (Nach Berg u. Schmidt.) — Officinell.

Wichtigere Unterfamilien und einheimische Gattungen. A. mit oberständigem Fruchtknoten. 1. *Ericeae.* K 4, C (4), A 4 + 4, G $(\underline{4})$, Krone bleibend. *Erica*, Kelch kürzer als Krone; mit einigen einheimischen (*E. Tetralix*), zahlreichen dem Mittelmeergebiet und Kapland angehörigen Formen. *Calluna*, Kelch länger als Krone. *Calluna vulgaris*, das Heidekraut, auf trockenem wie feuchtem Boden des westlichen Mitteleuropa, ins Gebirge aufsteigend und allein oder im Verein mit wenig zahlreichen anderen Pflanzen große Landstrecken bedeckend, die kurz als Heide bezeichnet werden. — 2. *Arbuteae.* Blüte fünfzählig. Krone hinfällig. *Andromeda*, in Mooren der nördlichen Hemisphäre verbreitet, mit Kapselfrucht. *Arctostaphylos uva ursi*, an gleichen Orten, circumpolar mit kleinen ganzrandigen Lederblättchen. Fünfsamige Steinfrüchte (Fig. 672). — 3. *Rhodoreae.* Krone hinfällig. Kapseln septicid. *Rhododendron*, Alpenrosen, drei einheimische Arten, zahlreiche, besonders asiatische, Formen als Zierpflanzen in Kultur. *Ledum palustre* Porst, giftiger immergrüner Strauch unserer Moore mit rostbraunen, am Rande umgerollten Blättern und zierlichen weißen Blütendolden. Krone freiblätterig, sternförmig. — B. Fruchtknoten unterständig. *Vaccinieae. Vaccinium Myrtillus*, sommergrüner Halbstrauch, Heidelbeere, *V. Vitis Idaea*, Preißelbeere, immergrün, die häufigsten Beerenfruchtsträucher unserer Wälder, beide hoch ins Gebirge hinaufgehend.

Officinell: Folia uvae ursi (Pharm. germ., austr., helv.) von *Arctostaphylos uva ursi.* Fructus Myrtilli (Pharm. helv.) von *Vaccinium Myrtillus.*

2. Familie ***Pirolaceae.*** Ausdauernde Kräuter, zum Teil immergrün. Krone häufig getrenntblätterig. Samen winzig klein, mit wenigzelligem Embryo. *Pirola* in verschiedenen Arten mit zierlichen Blüten, einzeln oder in Trauben. *Monotropa*, chlorophyllfreie Saprophyten. *M. Hypopitys* in unseren Wäldern nicht selten; ein mit Schuppenblättern besetzter fleischiger Schaft von gelber Farbe, der mit wenigblütiger, traubiger Inflorescenz abschließt.

2. Ordnung. Diospyrinae.

Strahlige, meist fünfzählige Blüten mit diplostemonem Andröceum. Kelchstaubblätter oft reduziert. *Sapotaceae*, tropische Familie. Milchsaftschläuche. *Palaquium-* und *Payena*-Arten des Malayischen Archipels, Guttapercha liefernde Bäume (Fig. 673).

Fig. 673. Palaquium Gutta. $^1/_2$ nat. Gr. (Nach A. MEYER und SCHUMANN.) — Officinell.

Blüten sechszählig. *Mimusops*, Bäume der Tropen aller Erdteile liefern Balata. *Ebenaceae*; *Diospyros Kaki*, japanischer Fruchtbaum, *D. Ebenum*, Ebenholzbaum. *Styracaceae*. Bisher angenommene Abstammung des officinellen Benzoë-Harzes (Pharm. germ., austr., helv.) von *Styrax Benzoin* ist zweifelhaft.

3. Ordnung. Primulinae.

Sympetale, strahlige Blüten mit nur einem Staubblattkreis, jedoch vor den Kronblättern und ihnen angewachsen. Einfächeriger oberständiger Fruchtknoten mit freier Centralplacenta. K 5, C (5), A 5, G (5).

1. Familie ***Primulaceae.*** Kräuter mit vielfach ansehnlichen Blüten. Kelch krautig, Griffel einfach. Zahlreiche Samenanlagen. Kapselfrüchte (Fig. 674—676).

Wichtige Gattungen: *Primula*, in mehreren Arten einheimisch. Kräuter mit Blattrosette. Blüten bald einzeln, bald in doldigen Blütenständen. Kapseln springen mit 5 Zähnen am Scheitel auf. Als Zierpflanzen verbreitet. *Anagallis* mit Deckelkapsel (Fig. 676), Stengel niederliegend mit dekussierten Blattpaaren. *Lysimachia*, stattliche

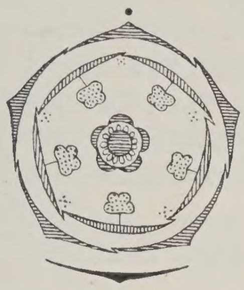


Fig. 674. Diagramm der Primulaceen (Primula).

Fig. 676. Anagallis arvensis. $1/2$ nat. Gr. Längsdurchschnittene Blüte und aufgesprungene Kapsel. Vergr.

Fig. 675. Cyclamen europaeum. Verkl. *A* blühende Pflanze. *B* Frucht. (Nach Reichenbach.) — Giftig.

Kräuter mit aufrechten oder kriechenden Stengeln und dekussierten Blättern. *Cyclamen* (42) durch überhängende Einzelblüten auf langen Stielen mit zurückgeschlagenen Kronzipfeln gekennzeichnet. Zahlreiche Arten und Bastarde als Zierpflanzen. *C. europaeum*, das Alpenveilchen, in den Alpen verbreitetes Kraut mit dicken, etwas fleischigen, langgestielten Blättern und einer massiven, bleibenden Knolle, aus dem Hypokotyl des Keimlings gebildet; nur ein Kotyledon. Die Fruchtstiele rollen sich spiralig ein (Fig. 675).

Giftig sind die Knollen von *Cyclamen europaeum* in frischem Zustande, gekocht dagegen unschädlich. *Anagallis* ist schwach giftig. *Primula obconica* (und *sinensis*) scheiden in ihren Drüsenhaaren Stoffe ab, die vielfach Hautausschläge und Augenentzündungen hervorrufen.

2. Familie ***Plumbaginaceae.*** Kräuter mit trockenhäutigem, oft lebhaft gefärbtem Kelch. Griffel gespalten. Eine Samenanlage im Fruchtknoten. *Armeria*- und *Statice*-Arten, auf salzhaltigem Boden häufige Pflanzen.

B. Tetracyclicae.

4. Ordnung. Contortae.

Pflanzen mit dekussierten, meist einfachen Blättern und strahlenförmigen Blüten, deren Krone in der Knospenlage häufig gedreht ist. Andröceum der Krone angewachsen. Fruchtknoten oberständig, aus zwei Fruchtblättern.

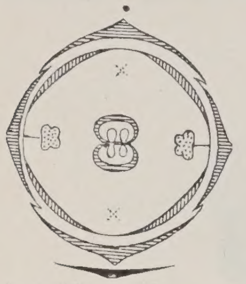


Fig. 677. Oleaceae. Diagramm (Syringa).

1. Familie ***Oleaceae.*** Sträucher oder Bäume ohne Nebenblätter. Blüten vierzählig, jedoch nur zwei Staubblätter. K 4, C (4), A 2, G (2). Krone mit klappiger oder dachiger Knospendeckung. Fruchtknoten zweifächerig mit zwei Samenanlagen in jedem Fache (Fig. 677).

Wichtige Gattungen: *Olea europaea*, Ölbaum[43], im Mittelmeergebiet und Westasien einheimisch und kultiviert. Bäume

Fig. 678. Fraxinus Ornus. $1/2$ nat. Gr. Einzelblüte und Frucht. — Officinell.

mit schwach entwickelter Krone von schwankenden Hängezweigen mit lanzettlichen, dunkelgrünen, unterseits graugrünen, einfachen und ganzrandigen Blättern. Blüten in blattachselständigen Trauben und Rispen. Steinfrüchte, deren fleischiges Exokarp, wie das Endosperm des Samens, fettes Öl enthalten (Fig. 679—681). *Ligustrum vulgare*, einheimisch. *Jasminum* und *Syringa* (Fig. 677), Ziersträucher. *Fraxinus*, Esche, mit unpaarig gefiederten Blättern. *F. excelsior* mit kronenlosen anemophilen Blüten; vor der Belaubung blühend. *F. Ornus*, Manna-Esche mit doppeltem Perianth entomophil; polygam, weibliche Blüten mit sterilen schwarzen Antheren neben Zwitterblüten; Krone bis zum Grunde gespalten (Fig. 678).

Officinell: Oleum Olivarum (Pharm. germ., austr., helv.) von *Olea europaea*. Manna (ibidem) von *Fraxinus Ornus*, auf Sicilien kultiviert.

2. Familie ***Loganiaceae.*** Kräuter, Sträucher oder Bäume mit Nebenblättern. K 5, C (5), A 5, G (2). In den Tropen verbreitete Familie.

Strychnos-Arten, mit Uhrfederranken kletternde Sträucher oder Bäume liefern Pfeilgifte, sowohl das bekannte Curare Südamerikas, wie dasjenige der Malayen.

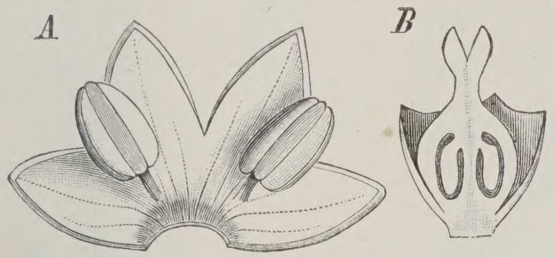


Fig. 679. Olea europaea. *A* ausgebreitete Krone. *B* Kelch und Fruchtknoten im Längsschnitt. Vergr. (Nach ENGLER-PRANTL.)

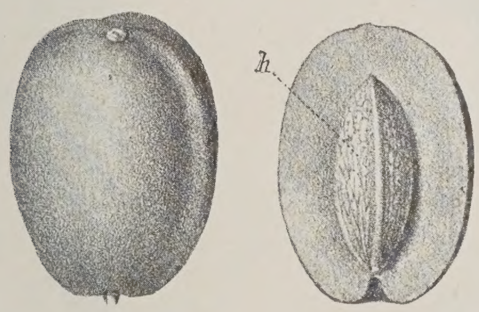


Fig. 680. Olea europaea. Steinfrucht.

Fig. 681. Olea europaea mit Früchten. $1/2$ nat. Gr. — Officinell.

Officinell: Semen Strychni und Strychninum (Pharm. germ., austr., helv.) von *Strychnos nux vomica*, einem kleinen Baum oder Strauch Südasiens mit kugelförmigen, hartschaligen Beerenfrüchten, deren Fleisch eine geringe Zahl der aufrecht stehenden, runden, flach-scheibenförmigen Samen eingebettet enthält (Fig. 682). Radix Gelsemii (Pharm. helv.) von *Gelsemium nitidum* (südliches Nordamerika).

3. Familie ***Gentianaceae.*** Kräuter ohne Nebenblätter. Krone in der Knospenlage gedreht (Fig. 683). Die zwei Fruchtblätter zu einfächerigem Fruchtknoten verwachsen; zahlreiche Samenanlagen.

Einheimische Gattungen: *Gentiana* (44), artenreiche Gattung mit mehr oder minder stattlichen Vertretern, besonders auf Alpenwiesen häufig und durch die Farbenpracht der ansehnlichen Blüten auffallend. Die Gattung bietet einen der besten Belege für den Saison-Dimorphismus (vgl. S. 212), d. h. die Spaltung einer Species in zwei nahe

verwandte, deren Entwicklung jedoch auf verschieden[illegible]teilt ist; da nämlich der Höhepunkt der sommerlichen Wiesenvegetati[illegible]ährlich wiederkehrenden Schnitt zusammenfällt, ist jedesmal die Spaltung i[illegible] diesem Zeitpunkt fruch-

Fig. 682. Strychnos nux vomica. $^1/_2$ nat. Gr. Frucht und Samen, Querschnitte durch beide. — Officinell und giftig.

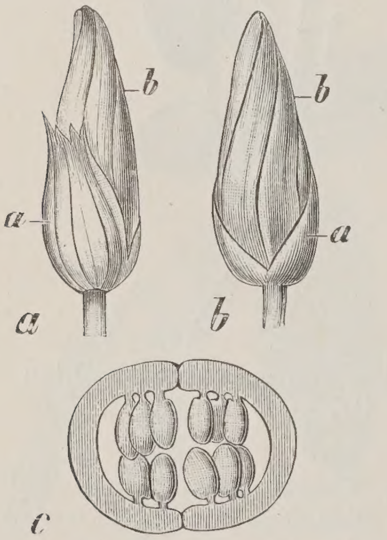


Fig. 683. Gentiana lutea. *a* und *b* Blütenknospe mit Kelch (*a*) und der gedrehten Krone (*b*). Nat. Gr. *c* Fruchtknoten im Querschnitte, vgr. (Nach Berg u. Schmidt.) — Officinell.

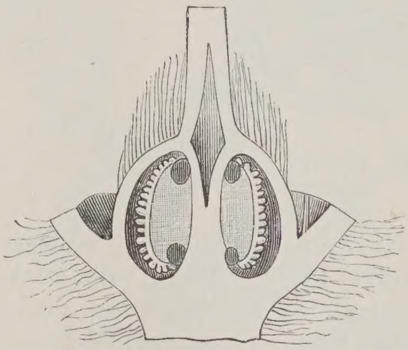


Fig. 685. Strophanthus hispidus. Fruchtknoten im Längsschnitt 10 zu 1. (Nach Engler-Prantl.)

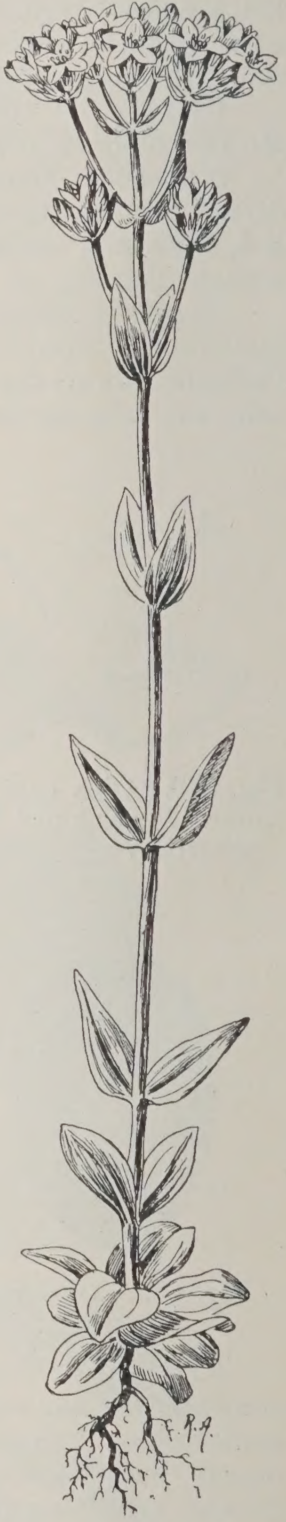


Fig. 684. Erythraea Centaurium. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell.

tende frühe, eine erst nachher sich entwickelnde späte Art erfolgt. — *Erythraea*, Tausendgüldenkraut (Fig. 684); Antheren spiralig gewunden. — *Menyanthes*, Bitterklee, mit gedreiten, wechselständigen Blättern und langgestielten Trauben weißer

Blüten, deren Kronblätter [illegible] behaart sind. — *Limnanthemum*, Wasserpflanzen mit Schwimmblättern.

Officinell: Radix Gentianae (Pharm. germ., austr., helv.) von *Gentiana lutea, pannonica, punctata, purpurea*. Herba Centaurii (Pharm. germ., austr., helv.) von *Erythraea Centaurium*. Folia Trifolii fibrini (Pharm. germ., austr, helv.) von *Menyanthes trifoliata*.

4. Familie ***Apocynaceae.*** Immergrüne Kräuter, Sträucher oder Bäume,

Fig. 686. Strophanthus hispidus. $^1/_2$ nat. Gr. Frucht, Samen etwa nat. Gr. (Nach MEYER und SCHUMANN.) — Officinell.

besonders in den Tropen verbreitet, ohne Nebenblätter. Milchsaftschläuche in allen Teilen. K 5, C (5), A 5, G $\underline{2}$. Kronblätter in der Knospe gedreht. Narbe ringförmig. Fruchtblätter nur durch den gemeinsamen Griffel zusammengehalten, unterwärts frei (Fig. 685) und nach der Befruchtung auseinanderstrebend. Meist zwei Balgfrüchtchen. Samen mit Haarschopf.

Wichtige Gattungen: Einheimisch nur *Vinca minor*, das Immergrün unserer Wälder (Fig. 687). Vielfach kultiviert: *Nerium Oleander* (Fig. 688 aus Südeuropa, mit

wohlriechenden ansehnlichen rosa Blüten, ist in allen Teilen sehr giftig. Blätter lanzettlich, graugrün, dekussiert oder in dreizähligen Quirlen.

Officinell: Semen Strophanthi (Pharm. germ., austr., helv.) von *Strophanthus Kombe* und *Str. hispidus*, Lianen des tropischen Afrika (Fig. 686). Cautschuc[45] von *Kickxia elastica* Preuß, und anderen Arten, Bäumen des tropischen Westafrika; ferner von zahlreichen *Landolphia*-Arten (*L. Kirkii*, *Heudelotii*, *comorensis* usw.), Lianen, die im

Fig. 688. Nerium Oleander. 1/2 nat. Gr. — Giftig.

ganzen tropischen Afrika häufig sind oder waren und, zusammen mit den ebenfalls hierher gehörigen „Wurzelkautschuk“ gebenden *Carpodinus*-Arten Angolas, die Hauptmenge des afrikanischen Kautschuk bringen. *Hancornia speciosa*, Baum der trockenen Campos Brasiliens südlich des Amazonas-Gebietes, liefert den „Mangabeira“-Kautschuk. *Willoughbeia firma*, *flavescens* und andere Vertreter dieser malayischen Lianen-Gattung verdienen ebenfalls Erwähnung als Kautschukpflanzen. Guttapercha ist in dem Milchsafte von *Tabernaemontana Donnell Smithii* gefunden, einem Schattenbaum für Kaffee in Mittelamerika. Da bisher ausschließlich schwer kultivierbare Sapotaceen für Guttaperchagewinnung in Betracht kamen, hat die Pflanze eventuell einst eine wichtige Rolle zu spielen. *Cortex Quebracho* (Pharm. austr., helv.) von Aspidosperma Quebracho (S.-Am.).

5. Familie ***Asclepiadaceae.*** Den Apocynaceen nahe verwandt und

sehr ähnlich; mit gedrehter Knospenlage der Krone, freien, nur durch die prismatische Narbe zusammengehaltenen Fruchtblättern und Milchsaft in allen Teilen. Staubblätter an der Basis vereinigt, mit dorsalen Anhängseln, welche eine Nebenkrone bilden. Pollenmassen fachweise zu Pollinien verklebt, deren Stiele an drüsigen Schwellungen des kantigen Narbenkopfes, den Klemmkörperchen, festsitzen. Besuchende Insekten nehmen, ähnlich wie bei den Orchidaceen, die ganzen Pollinien mit fort und übertragen sie auf andere Blüten (Fig. 689).

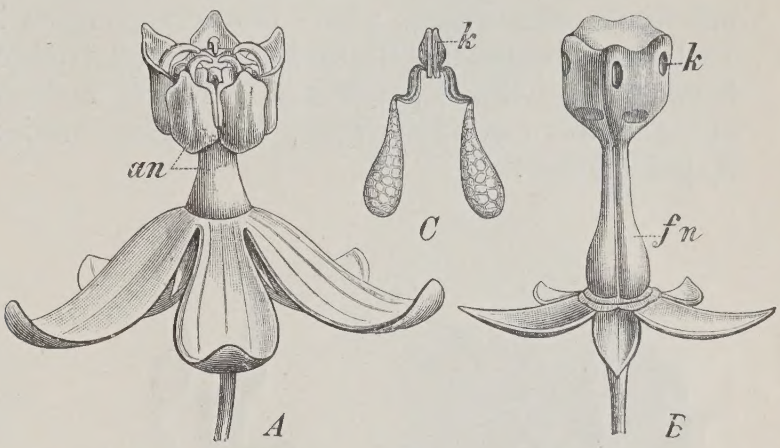


Fig. 689. Asclepias curassavica. *A* Blüte, *an* Andröceum. Vergr. 4. *B* Kelch und Gynöceum, *fn* Fruchtknoten, *k* Klemmkörperchen. Vergr. 6. *C* Pollinium. Stark vergrößert. (Nach BAILLON.)

Fig. 687. Vinca minor. $^2/_3$ nat. Gr.

Fig. 690. Vincetoxicum officinale. $^1/_2$ nat. Gr. — Giftig.

Wichtige Gattungen: Einheimisch nur *Vincetoxicum officinale* (Fig. 690), Staude mit unscheinbaren weißen Blüten, langbehaarten Samen in den Balgfrüchten; giftig. Im übrigen meist Bewohner der Tropen und Subtropen. Besondere Erwähnung verdienen die succulenten *Stapelia-*, *Hoodia-*, *Trichocaulon-* usw.-Arten, cactusähnliche Pflanzengestalten der südafrikanischen Wüsten und die eigenartigen Kannenpflanzen des Malayischen Gebietes, *Dischidia Rafflesiana* (46). Vielfach kultiviert *Hoya carnosa*.

Officinell: Cortex Condurango (Pharm. germ., austr., helv.) von *Marsdenia Condurango*, einer in Ecuador und Columbien heimischen Liane.

5. Ordnung. Tubiflorae.

Blüten fünfzählig, strahlig oder dorsiventral, zwei Fruchtblätter. Fruchtknoten zweifächerig, mit zwei, häufig durch eine falsche Scheidewand getrennten Samenanlagen in jedem Fache.

1. Familie ***Convolvulaceae.*** Kräuter oder Sträucher, seltener Bäume, mit wechselständigen, pfeil- bis herzförmigen Blättern, meist Schlingpflanzen. Viele mit Milchsaft. Blumenkrone weit trichterförmig, kaum gelappt; in der Knospenlage längs gefaltet und rechts gedreht. Staubblätter fünf. Samenanlagen des zweifächerigen, oft vierkammerigen Fruchtknotens grundständig. Kapselfrüchte.

Fig. 692. Exogonium purga. $1/2$ nat. Gr. — (Nach Berg und Schmidt.) — Officinell.

Fig. 691. Convolvulus arvensis. $1/2$ nat. Gr. Blütenlängsschnitt und Fruchtkapsel vergr.

Wichtige Gattungen: *Convolvulus arvensis* (Fig. 691), Ackerwinde, schlingendes ausdauerndes Kraut, überall an Wegrändern und vielfach in Getreidefeldern. Blüten einzeln, langgestielt, blattachselständig, bisweilen aus den Achseln der Vorblätter eine zweite Blüte. *Calystegia*, zwei große Vorblätter unmittelbar unter dem Kelch. *C. sepium*, Zaunwinde, *Cuscuta* (47), sehr chlorophyllarme, fadenförmige Parasiten, auf verschiedenen Wirtspflanzen mit Haustorien schmarotzend. Kleine Blüten in geknäuelten Blütenständen beisammen (vgl. S. 183, Fig. 199). *Ipomoea*, hauptsächlich tropische Gattung, liefert einige beliebte Zierpflanzen; *I. pescaprae*, Dünenpflanze des ganzen Tropengebietes.

Officinell: Tubera Jalapae, Jalapenknolle (Pharm. germ., austr., helv.), und Resina Jalapae, von *Exogonium purga* (Fig. 692), einer an den bewaldeten Ostabfällen des mexikanischen Hochlandes wachsenden Pflanze mit windendem Stengel und knollig verdickten Nebenwurzeln. Scammonium (Pharm. helv.), Milchsaft von *Convolvulus Scammonia* (Kleinasien).

2. Familie ***Polemoniaceae.*** Fruchtblätter meist drei. Kein Milchsaft. *Polemonium coeruleum* einheimisch. *Cobaea scandens* und *Phlox*, Zierpflanzen.

3. Familie ***Hydrophyllaceae.*** K 5, C (5), A 5, G $(\underline{2})$. Infloreszenzen Wickel.

4. Familie ***Boraginaceae*** (Fig. 693, 694). Kräuter mit rauhhaarigen

Stengeln und Blättern (Asperifoliaceae). Inflorescenzen stets wickelartig([48]). Blüten strahlig oder dorsiventral. Fruchtknoten stets zweifächerig, durch falsche Scheidewände in vier einsamige Klausen zerteilt, in deren Mitte der Griffel sitzt (Fig. 693). Samenanlagen hängend. Vierteilige Spaltfrucht.

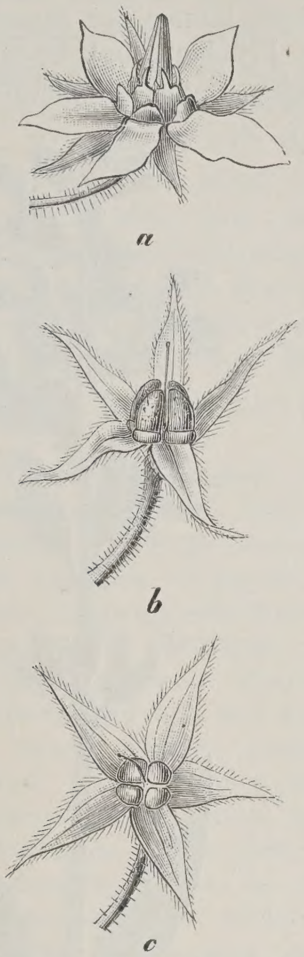


Fig. 693. Borago officinalis. *a* Blüte, *b* und *c* Frucht. Nat. Gr.

Fig. 694. Echium vulgare. Blütenzweig $1/2$ nat. Gr. Einzelblüte und Frucht (4 Klausen) vergr.

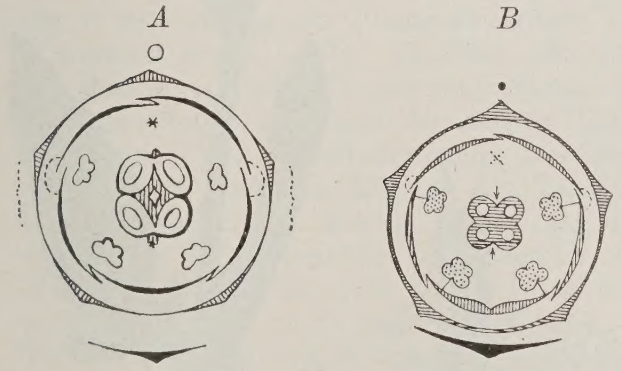


Fig. 695. *A* Blütendiagramm von Verbena officinalis. (Nach EICHLER.) *B* Diagramm von Lamium (Labiatae).

Fig. 696. Galeopsis ochroleuca. *a* Blüte, nat. Gr., *b* dieselbe ohne Kelch, nat. Gr., *c* Corolle, aufgeschnitten, mit den Staubblättern und dem Griffel. Vergr. 2. *d* Kelch mit dem Gynöceum. Vergr. 2. *e* Frucht. Vergr. 2. — Officinell.

Gattungen: *Symphytum*, *Borago*, Boretsch, *Anchusa*, Ochsenauge, *Echium*, Natternkopf, *Myosotis*, Vergißmeinnicht, gehören mit zu den häufigsten und zugleich auffälligsten krautigen Bestandteilen unserer einheimischen Flora; ganzrandige, rauhhaarige, wechselständige Blätter und verhältnismäßig große, heller oder dunkler blaue Blüten sind neben den eigenartigen Inflorescenzen allen gemeinsam. Bei der im Frühjahr häufigen *Pulmonaria officinalis*, Lungenkraut, geht die Farbe der Krone von rot in blau-violett über. *Cerinthe* völlig unbehaart, mit Wachsüberzug. *Heliotropium*, beliebte Zierpflanze mit ungeteiltem Fruchtknoten.

5. Familie ***Verbenaceae.*** Sträucher oder Bäume, selten Kräuter, mit dorsiventralen Blüten. K 5, C (5), A 4, G (2), von der nächsten Familie nur durch den terminalen Griffel unterschieden (Fig. 695 *A*). Einheimisch nur *Verbena officinalis*. *Lantana*, weitverbreitete tropische Unkräuter. *Tectona grandis* (49) liefert das wertvolle Teakholz; laubabwerfender Baum der trockeneren Gegenden Ostindiens. *Avicennia* (50), Bäume der Mangrovevegetation mit viviparen Früchten und Pneumatophoren (Fig. 209). *Clerodendron* (51) mit myrmekophilen Arten.

Fig. 697. Lavandula vera. $1/2$ nat. Gr. — Officinell.

Fig. 698. Salvia officinalis. Blühender Sproß. $1/2$ nat. Gr. Der Länge nach aufgeschnittene Kronröhre mit den Staubblättern. Vergr. — Officinell.

6. Familie **Labiatae.** Kräuter oder Sträucher mit vierkantigem Stengel und dekussierten Blattpaaren ohne Nebenblätter. Blätter einfach; Pflanzen häufig durch reichlich vorhandene Drüsenhaare aromatisch. Blüten in den Blattachseln einzeln oder scheinbar quirlständig. Die kleinen Blütenstände sind Dichasien oder Doppel-Wickel, welche oft zu kopfigen oder ährenähnlichen Gesamtinflorescenzen zusammentreten. Einzelblüte (Fig. 696) stets dorsiventral. Kelch verwachsenblättrig, fünfzähnig; Krone zweilippig, Oberlippe mit zwei, Unterlippe mit drei Zipfeln; Staubblätter ungleich lang, vier, seltener zwei; Fruchtknoten aus zwei, durch falsche Scheidewand tief eingeschnürten Fruchtblättern, in deren Mitte der Griffel eingesenkt ist. Narbe zweispaltig. Ringförmiges Nektarium am Grunde des Fruchtknotens. Spaltfrüchte: vier „Klausen".

Wichtige Gattungen: Die Lippenblüter stellen einen großen Teil unserer häufigsten einheimischen Frühjahrs- und Sommerblumen wie *Lamium*, *Galeopsis*, *Stachys* mit helmförmiger, *Ajuga* mit sehr kurzer, *Teucrium* mit tiefgespaltener Oberlippe; *Nepeta* und *Glechoma* mit längeren hinteren Staubblättern, abweichend von den meisten Labiatenblüten, deren vordere Staubblätter die längeren sind. *Salvia* (52), eine der artenreichsten Gattungen; protandrisch, ausgezeichnet durch Fehlschlagen zweier Staubblätter (Fig. 698). Die fertilen tragen an ungewöhnlich langem Konnektiv eine vordere fruchtbare Theca unter der schützenden Oberlippe verborgen. Die hintere, bei verschiedenen Arten in etwas verschiedener Weise entwickelte Theca sperrt den Zugang zur Blumenkronröhre und Nektarium (vergl. S. 255, Fig. 238). Sie wird von den besuchenden Bienen nach hinten und oben geschoben, und damit der andere Hebelarm des um den Anheftungspunkt drehbaren Konnektives auf den Rücken des Insektes niedergedrückt. In älteren Blüten hat sich inzwischen die zweispaltige Narbe soweit verlängert, daß die Biene oder Hummel den mitgeführten Pollen an ihr abstreichen muß. — Viele Salviaarten sind nicht nur durch ihre Blüten selbst, sondern mehr noch vermöge der lebhaft gefärbten Hochblätter ausgezeichnete Zierpflanzen. Besondere Verbreitung haben die Labiaten in den trockneren Gesträuchformationen des Mittelmeergebietes, den Maquis: *Salvia officinalis*, *Marrubium*, *Phlomis*, *Lavandula*-Arten. *Rosmarinus officinalis*, ein stattlicher Strauch mit kleinen schmalen, am Rande umgerollten Blättchen und hellblauen Blüten, deren Staubblätter ebenfalls nur in Zweizahl fertil sind. Viele Arten als aromatische Küchenkräuter in Gebrauch: *Origanum Majorana*, *Satureja hortensis*, *Ocimum Basilicum*, *Salbei* und *Thymian*. Dieser, *Thymus vulgaris* des Mittelmeeres, wie der deutsche *Quendel*, *Thymus Serpyllum*, niedrige Halbsträucher mit polygamen Blüten, größeren zwittrigen und rein weiblichen kleineren. Ebenso einige *Mentha*-Arten. Die viel kultivierte *M. piperita* ist ein Bastard zwischen *M. viridis* und *aquatica*; völlig steril, seit den ältesten Zeiten durch Ausläufer verbreitet. *M. crispa*, ebenfalls vielfach in Kultur, crispate Formen von *M. viridis*, *M. longifolia* var. *undulata*, *M. silvestris* u. a.

Fig. 699. Melissa officinalis. $^1/_2$ nat. Gr. (Nach Berg u. Schmidt.) — Officinell.

Officinell: *Lavandula vera* (Fig. 697) (Mittelmeerländer) liefert: Flores Lavandulae und Oleum Lavandulae (Pharm. germ., austr., helv.). — *Salvia officinalis* (Fig. 698): Folia Salviae (ibid.). — *Melissa officinalis* (Fig. 699): Folia Melissae (ibid.). — *Thymus Serpyllum*: Herba Serpylli (ibid.). — *Th. vulgaris* (Mittelmeerländer): Herba Thymi und Oleum Thymi (Pharm. germ., helv.), ferner Thymolum (Pharm. germ., austr., helv.). — *Rosmarinus officinalis*: Folia Rosmarini (Pharm. austr., helv.), Oleum Rosmarini (Pharm. germ., austr., helv.). — *Mentha piperita*: Folia Menthae piperitae, Oleum Menthae piperitae und Mentholum (Pharm. germ., austr., helv.). — *M. crispa*: Folia Menthae crispae (Pharm. austr.). — *Galeopsis ochroleuca* (Fig. 696): Herba Galeopsidis (ibid.). — *Origanum vulgare*: Herba Origani (ibid.). — *Origanum Majorana*: Herba Majoranae (Pharm. helv.).

6. Ordnung. Personatae.

Die Personaten werden durch die kleine Familie der Nolanaceen ebenfalls an die Convolvulaceen angeknüpft, von denen die Tubifloren ausgingen.

Fig. 701. Atropa Belladonna. 1/2 nat. Gr. — Officinell und giftig.

Blüten strahlig oder dorsiventral. Ihrer Grundform entspricht auch hier die Formel K5, C(5), A5, G(2). Doch fehlen die falschen Scheidewände im Fruchtknoten und die Zahl der Samenanlagen pflegt eine recht erhebliche zu sein.

1. Familie ***Solanaceae.*** Kräuter oder kleinere Holzgewächse mit wechselständigen, nebenblattlosen Blättern und fast immer strahligen Blüten. K5, C(5), A5, G(2). Krone flach oder röhrenförmig, in der Knospenlage gefaltet. Fruchtknoten zweifächerig, mit schräg zur Mediane stehender Scheidewand und sehr zahlreichen Samenanlagen an dicken Placenten. Kapsel oder Beerenfrüchte. Samen mit Endosperm und meist stark gekrümmtem Embryo (Fig. 700).

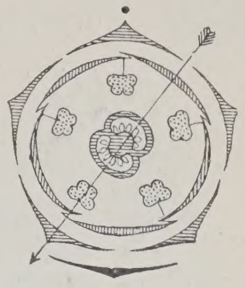


Fig. 700. Solanaceae. Diagramm (Petunia).

Fig. 702. Solanum Dulcamara. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell und giftig.

Bei zahlreichen Solanaceen kommen scheinbar extraaxilläre Verzweigung und gepaart scheinende Blätter an den blühenden Achsen vor, wie bei den Einzelbeschreibungen näher erörtert wird. Anatomisch sind die Solanaceen durch bikollaterale Gefäßbündel ausgezeichnet.

Wichtige Gattungen und Arten. a) mit Beerenfrüchten: *Atropa Belladonna*, Tollkirche (Fig. 701), ein stattliches, strauchig erscheinendes, mit Rhizom perennierendes Kraut Europas und Westasiens. Bei uns in lichteren Laubwäldern verbreitet. Die Sprosse sind zunächst orthotrop und radiär, tragen wechselständige Blätter und eine Endblüte, die selten zur Fruchtreife gelangt. Unterhalb dieser terminalen Einzelblüte tritt eine Blatthäufung und Verzweigung in meist drei gleichstarke Seitenzweige auf. Jeder Seitenzweig gabelt sich und nimmt bei wickelartiger Weiterverzweigung dorsiventralen Habitus an. Durch Förderung je eines Achselsprosses der beiden einer

Sproßgeneration angehörenden Blätter und Hinaufwachsen des Tragblattes an ihm, wird die jedesmalige Endblüte scheinbar achselständig. Ihr großes Tragblatt rückt neben das kleinere der nächsten, meist nicht zur Entwicklung gelangenden Achselknospe hinauf, so daß gepaarte Blätter vorhanden scheinen. Blüten kurz, aufgedunsen, röhren-

Fig. 703. Datura Stramonium. $^1/_2$ nat. Gr. Reife Frucht aufgesprungen. — Officinell und giftig.

förmig, von trüber Purpurfarbe. Der Kelch wächst nach der Befruchtung weiter und läßt die dunkel blauschwarze Frucht, deren schiefe Scheidewand an einer kleinen Rinne kenntlich wird, deutlich hervortreten.

Solanum-Arten zählen mit zu den häufigsten Unkräutern, Blüten radiär: *S. nigrum*, Nachtschatten, *S. Dulcamara*, Bittersüß (Fig. 702), mit Stengel und Blattstielen kletternder Strauch, besonders in Ufergebüschen u. dgl. häufig. *S. tuberosum*, Kartoffel, *Lycopersicum*,

Fig. 704. Nicotiana Tabacum. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell und giftig.

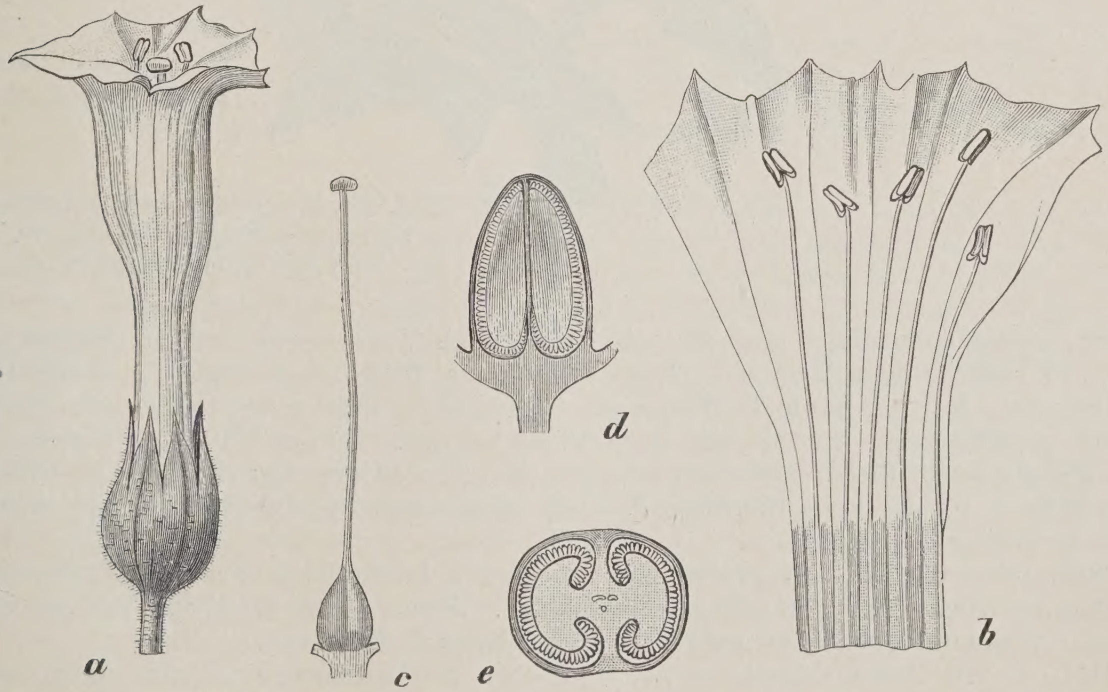


Fig. 705. Nicotiana Tabacum. *a* Blüte, nat. Gr., *b* Krone aufgeschnitten, nat. Gr., *c* Fruchtknoten, nat. Gr., *d* und *e* junge Frucht. Vergr. 2.

Tomate, *Capsicum annuum*, spanischer Pfeffer mit trockenen Beerenfrüchten; in der Verzweigung und Blattstellung Atropa ähnlich. b) mit Kapselfrüchten. *Datura Stramonium*, Stechapfel (Fig. 703), eine in ganz Europa, Asien, Nordamerika verbreitete annuelle Pflanze mit buchtig ausgeschweiften, fiedernervigen Blättern, großen, weißen, gipfelständigen Blüten und am Scheitel vierspaltig aufspringenden, stachligen Früchten. Die Pflanze bringt ihre erste endständige Blüte schnell zur Entwicklung und zeigt dann reiche dichasiale Verzweigung. Da nun die Tragblätter an ihren meist gleich stark sich entwickelnden gabeligen Achselsprossen hinaufwachsen, kommt stets der Anschein extraaxillärer Verzweigung zu stande mit einer in der Gabel stehenden Endblüte oder Frucht. *Nicotiana Tabacum* (Fig. 704 u. 705), in zahlreichen Kulturformen verbreitete Pflanze Südamerikas, jetzt in den Tropen wie bei uns kultiviert. Große wechselständige, reich drüsig behaarte

Fig. 706. Hyoscyamus niger, blühender Sproß und Frucht. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell und giftig.

Blätter, welche getrocknet und zubereitet als Tabak Verwendung finden. Blüten langröhrig in endständigen Rispen. *Hyoscyamus niger*, Bilsenkraut (Fig. 706), einjährig, in Mitteleuropa, Nordafrika und Westasien verbreitet. Blätter am blühenden Stengel sitzend, grundständige gestielt, alle reich drüsig behaart. Blüten ein wenig dorsiventral, von unbestimmt gelblicher-violetter Farbe mit dunklerer Zeichnung; sie bilden eine Wickel. Kapselfrüchte mit Deckel aufspringend. *Salpiglossis*, beliebte Zierpflanzen mit ebenfalls etwas dorsiventralen Blüten.

Mehr oder minder giftig sind alle Solanaceen infolge zum Teil sehr bedeutenden Gehaltes an Alkaloiden oder giftigen Glykosiden. *Solanum*-Arten, *Atropa*, *Datura*, *Hyoscyamus*, *Nicotiana* rechnen zu unseren gefährlichsten Giftpflanzen.

Officinell: *Atropa Belladonna* liefert: Folia Belladonnae (Pharm. germ., austr., helv.). Radix Bell. Pharm. austr., helv.), Atropinum (Pharm. germ., austr., helv.). —

Datura Stramonium: Semen Stramonii (Pharm. helv.), Folia Stramonii (Pharm. germ., austr., helv.). — *Hyoscyamus niger*: Herba s. Folia Hyoscyami (ibid.). — *Capsicum annuum*: Fructus Capsici (Pharm. germ., helv.). — *Nicotiana Tabacum*: Folia Nicotianae (ibid.). — *Solanum Dulcamara*: Caules Dulcamarae (Pharm. austr., helv.). — *Scopolia carniolica*: Scopolaminum (Pharm. germ.).

2. Familie ***Scrophulariaceae.*** Kräuter mit gegen- oder wechselständigen Blättern ohne Nebenblätter. Blüten dorsiventral, Krone in der Knospenlage nicht gefaltet. Staubblätter häufig minderzählig. Fruchtblätter median (Fig. 707). Zweifächerige Kapselfrüchte.

Wichtige Unterfamilien und Gattungen: a) *Antirrhineae*, nicht parasitisch. *Verbascum* (Fig. 708), Wollkraut; zweijährige Kräuter, die im ersten Jahre eine mächtige Blattrosette bilden, im zweiten Jahre den steil aufsteigenden Blütenschaft emporsenden, der bald nur 2—3blütige, fast sitzende Dichasien in terminaler Ähre trägt, bald durch Bereicherung aus den unteren Blattachseln zu einer reich verzweigten Rispe wird.

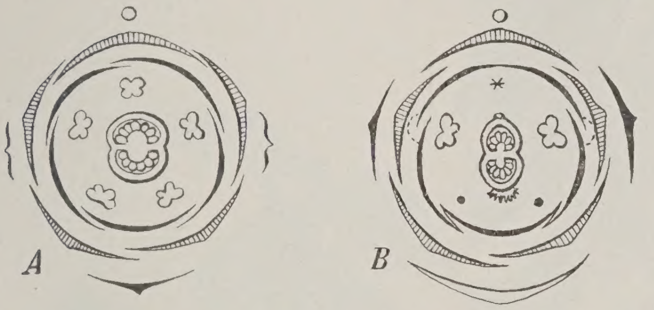


Fig. 707. Scrophulariaceae. Blütendiagramme. (Nach EICHLER.) *A* Verbascum, *B* Gratiola.

Fig. 708. Verbascum thapsiforme. *a* Blüte, *b* Kelch und Griffel. Nat. Größe. — Officinell.

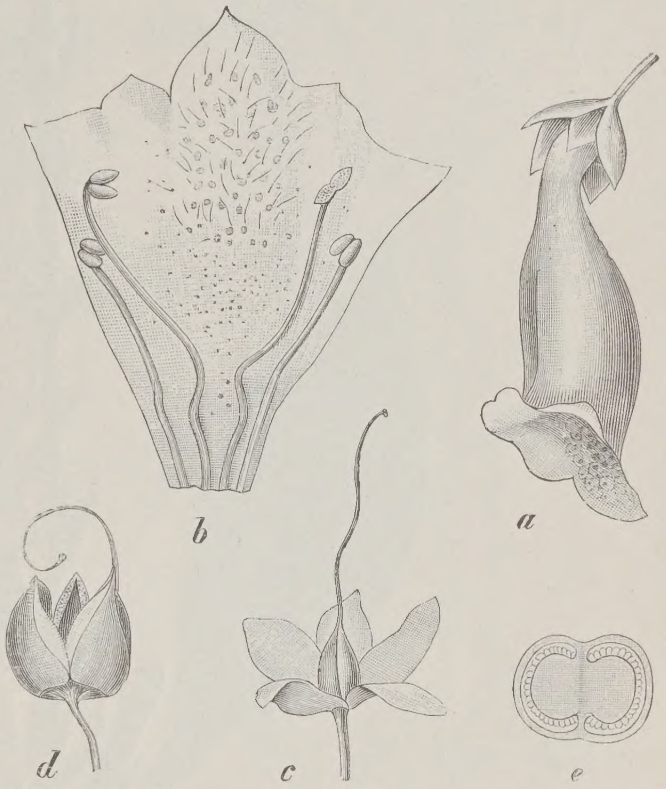


Fig. 709. Digitalis purpurea. *a* Blüte, *b* Corolle aufgeschnitten, *c* Kelch und Fruchtknoten, *d* Frucht, aufgesprungen, *e* Frucht, im Querschnitte. Nat. Gr. — Officinell.

Einzelblüten schwach dorsiventral mit fünf Staubblättern; die drei hinteren meist wollig behaart und durch quergestellte Antheren von den beiden vorderen normalen unterschieden. *Digitalis*, Fingerhut (Fig. 709, 710) mit schief glockiger Krone und 4 Staubblättern. Blüten in einseitswendiger Traube an schräg aufsteigender Hauptachse herabhängend. *Scrophularia* mit zweilippiger Krone; Unterlippe sehr kurz. *Linaria* und *Antirrhinum* mit gespornter Krone. *Veronica* und *Gratiola* mit nur zwei fertilen Staubblättern (Fig. 707 *B*). — b) *Rhinantheae*. In einen engeren Verwandtenkreis gehört eine Anzahl von Gattungen, die zu parasitischer Lebensweise übergegangen sind. Am stärksten ausgebildet ist der Parasitismus bei *Lathraea* (vgl. S. 168), deren Arten des Chlorophylls völlig entbehren; *L. squamaria*, Schuppenwurz, einheimisch, schmarotzt auf Coryluswurzeln; zahlreicher sind die Halbparasiten, wie *Tozzia*, *Bartschia*, *Pedicularis*, *Euphrasia*, *Odontites*, *Melampyrum*, *Alectorolophus* u. a., die trotz des Besitzes grüner Blätter sich mit Haustorien den Wurzeln anderer Pflanzen anlegen und ihnen Nährstoffe entziehen. Näheres über Lebensweise und Entwicklung, wie über den „Saisondimorphismus" der Arten[53] in der angeführten Literatur.

Officinell: Folia Digitalis von *D. purpurea* (Pharm. germ., austr., helv.). Flores Verbasci (ibidem) von *Verbascum thapsiforme* und *V. phlomoides*.

3. Familie ***Orobanchaceae.*** Chlorophyllfreie Wurzelparasiten mit Scrophulariaceen-

Fig. 710. Digitalis purpurea. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell und giftig.

blüten, aber einfächerigem Fruchtknoten. Zahlreiche einheimische *Orobanche*-Arten auf verschiedenen Wirtspflanzen, als „Würger“ bezeichnet.

4. Familie ***Bignoniaceae.*** Holzgewächse, vielfach Lianen, mit vier Staubblättern, zweilippiger Krone. Samen geflügelt. *Catalpa bignonioides*, *Tecoma radicans*, Zierpflanzen aus Nordamerika.

5. Familie ***Gesneriaceae.*** Kräuter der Tropen mit einfächerigem, bald ober- bald unterständigem Fruchtknoten und 4 oder nur 2 Staubblättern. Der prächtig gefärbten

Fig. 711. Orobanche minor auf Trifolium repens schmarotzend. $1/2$ nat. Gr. Einzelblüte vergr.

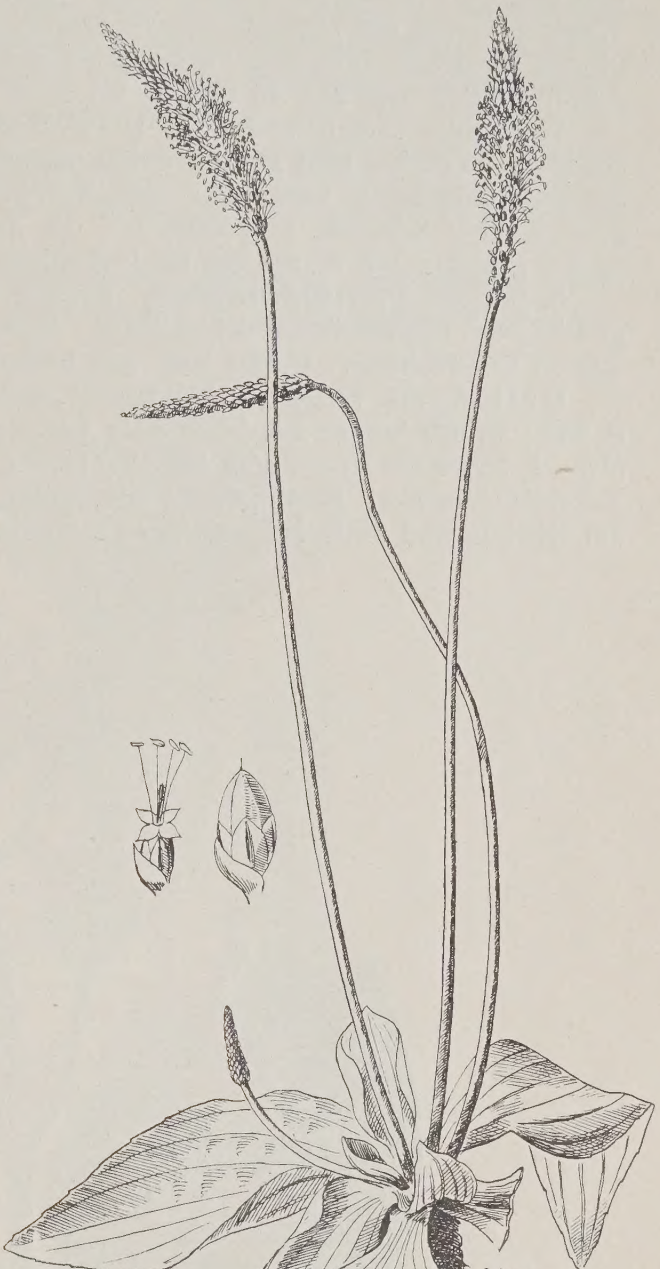


Fig. 712. Plantago media. $1/2$ nat. Gr. Einzelblüte und Frucht, vergr.

Krone halber beliebte Zierpflanzen, wie *Gloxinia*, *Aeschynanthus*, *Achimenes*. *Ramondia pyrenaïca* u. a. A. europäische Vertreter. *Streptocarpus* (54) *polyanthus* besitzt nur ein Keim-

blatt, das dauernd erhalten bleibt, mächtige Dimensionen erlangt und Blütensprosse an der Basis hervorbringt.

6. Familie ***Lentibulariaceae.*** Wasser- oder Sumpfpflanzen mit gespornter Krone und nur zwei (vorderen) Staubblättern; insektenfangend und verdauend. *Utricularia* (55), Wasserpflanzen mit reusenähnlichen Blasen, in den Tropen auch als Landpflanzen, Epiphyten u. dergl. vertreten. *Pinguicula* mit grundständiger Rosette am Rande eingerollter Blätter (vgl. Fig. 46 und S. 191).

7. Familie ***Acanthaceae.*** Kräuter mit dekussierter Blattstellung, vierkantigen Stengeln. Früchte sind zweifächerige, elastisch sich öffnende Kapseln. In den Tropen als Unterholz reich vertreten. *Acanthus*-Arten im Mittelmeergebiet einheimisch; ihre großen, fiederschnittig ausgerandeten, an den Zipfeln des Randes gestachelten Blätter in der griechischen Kunst als Säulenkapitäle, in Reliefkanten usw. häufig nachgeahmt.

8. Familie ***Plantaginaceae.*** Kräuter mit grundständiger Blattrosette und dichtgedrängten, langgestielten Blütenähren. Blüten vierzählig, radiär. Krone häutig. Fruchtknoten zweifächerig. Griffel lang und behaart.

Gattungen: Wegerich, *Plantago* (56), einheimische Arten stark protogyn (vgl. Fig. 235, S. 253); an den jungen Köpfchen oder Ähren sind die weißen Griffelfäden alle weit ausgestreckt, bevor die Krone sich öffnet (Fig. 712). Übergänge von Wind- zu Insektenblüten. *Litorella lacustris*, Sumpfpflanze mit dreiblütiger Ähre aus je zwei weiblichen Blüten am Grunde und einer langgestielten männlichen Blüte bestehend.

Fig. 713. Cinchona succirubra. 1/2 nat. Gr. (Nach A. Meyer u. Schumann.) — Officinell.

7. Ordnung. Rubiinae.

Pflanzen von sehr verschiedenem Habitus mit gegenständigen Blättern. Den vorhergehenden Ordnungen gegenüber sind in den Rubiinen Gewächse mit sympetalen Blüten und unterständigem Fruchtknoten vereinigt. Blüten vier- oder fünfzählig. Fruchtknoten zwei- oder dreifächerig. Staubblätter der Krone angewachsen, Kelch sehr unscheinbar.

1. Familie ***Rubiaceae.*** Kräuter, Sträucher oder Bäume mit einfachen Blättern in dekussierter Stellung und mit Nebenblättern. Blüten radiär, Fruchtknoten zweifächerig.

Unterfamilien und wichtige Gattungen: a) *Cinchoneae.* Holzgewächse mit schuppenförmigen Nebenblättern und zahlreichen Samen in jedem Fruchtknotenfache.

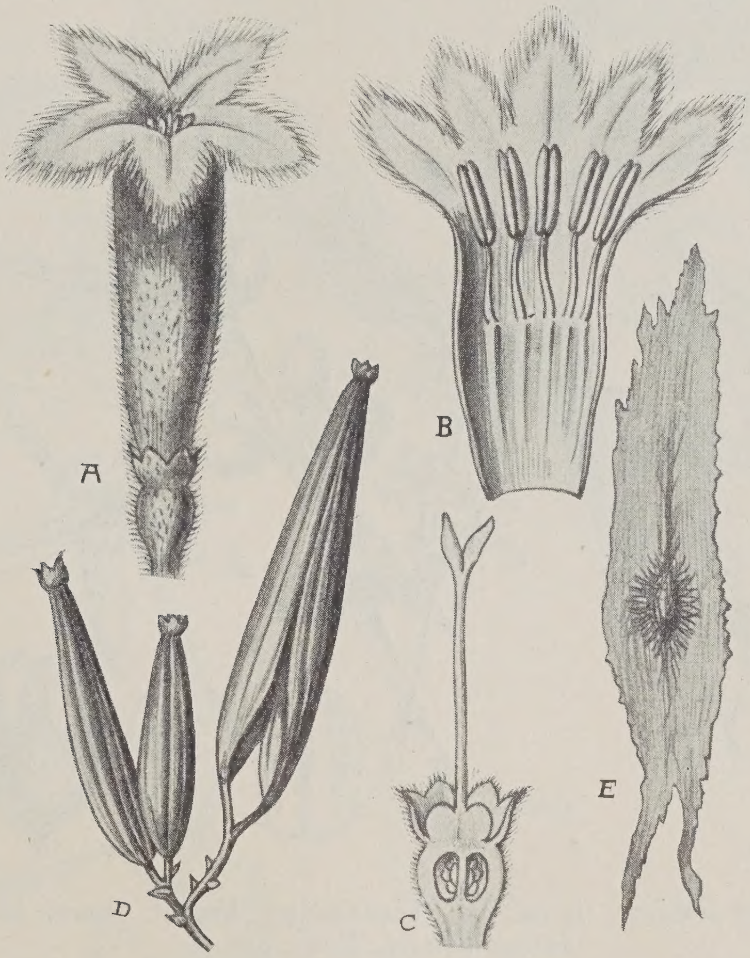


Fig. 714. Cinchona succirubra. Vergr. *A* Blüte. *B* Corolle aufgeschnitten. *C* Fruchtknoten-Längsschnitt. *D* Früchte. *E* Samen. *D* nat. Gr. (Nach A. Meyer und Schumann.)

Cinchona, Chinarindenbaum, Gattung der südamerikanischen Anden, zur Zeit in den Gebirgen fast aller tropischen Kolonien kultiviert (Fig. 713, 714). Nebenblätter hinfällig. Blüten in endständigen Rispen; röhrenförmig mit flach ausgebreitetem, feingewimpertem Rande. Frucht eine septicide Kapsel, deren Klappen nach der Öffnung vom kurzen Kelchrande oben noch zusammengehalten werden. Samen rings mit einem breiten häutigen Flugrande. *Ourouparia* (57), Schlingpflanzen der Malayischen Inseln, die mit ihren rückwärts gerichteten Nebenblattdornen als für Berührungsreiz empfänglichen Organen klettern. Ihre Blüten stehen zahlreich beisammen in kugelrunden Inflorescenzen, ähnlich wie bei dem in unseren Gärten kultivierten Zierstrauch *Cephalanthus.* — b) *Coffeae* Nebenblätter schuppenförmig. Fruchtknotenfächer einsamig. *Coffea*, Kaffeestrauch

C. arabica und *C. liberica* (Fig. 715), wichtige Kulturpflanzen der Tropen, ursprünglich in Afrika zu Hause. Von der glänzenden dunkelgrünen Belaubung heben sich die gleich Orangeblüten duftenden, schneeweißen, fünfzähligen Blumenkronen und die lebhaft roten Früchte vorteilhaft ab und machen eine Kaffeeplantage zu einer für Auge und Geruch höchst anziehenden Pflanzung. Fruchtwandung differenziert sich in ein fleischiges Exokarp und ein Steinzellen-Endokarp. Samen besteht fast nur aus hornartigem Endosperm, dem ein winziger Embryo eingelagert ist. Samenschale (Silberhaut) äußerst dünn. Hierher auch die merkwürdigen Ameisenpflanzen (vgl. Fig. 203, S. 189) des Malayischen Archipels *Myrmecodia* (58) mit Wurzeldornen und *Hydnophytum*; ferner *Uragoga Ipecacuanha*, ein kleines krautiges oder halbstrauchiges Gewächs Brasiliens, besonders der Provinz Matogrosso, mit

Fig. 715. Coffea arabica. 1/2 nat. Gr. Einzelblüte. Frucht, Samen im Endokarp und daraus befreit. Etwa nat. Gr.

am Rande zerschlitzten Nebenblättern und gipfelständiger, kopfiger Inflorescenz, die von einigen Hochblättern umgeben ist (Fig. 716). Kleine Beerenfrüchte. Die Pflanze wird in geeigneten Lagen der südlichen Himalayatäler angebaut. — c) *Stellatae.* Einzige Abteilung mit einheimischen Vertretern der Familie, wie *Galium*, *Rubia*, *Asperula* (Waldmeister). Diese Gattungen besitzen Spaltfrüchtchen und sind dadurch ausgezeichnet, daß ihre Nebenblätter (59) den Blättern selbst vollkommen gleichen (Fig. 717), so daß meist sechszählige Wirtel an den Knoten sitzen; bisweilen ist die Zahl vermehrt, bei Rubia durch paarweises Verwachsen der Nebenblätter auf vier vermindert. Die Blätter sind durch den Besitz von Achselknospen leicht von den Nebenblättern zu unterscheiden. Blüten meist vierzählig; je ein Samen in jedem Fruchtknotenfach. Teilfrüchtchen Nüsse. Vielfach Klettfrüchte.

Officinell: Chininum und Cortex Chinae (Pharm. germ., austr., helv.) von *Cinchona succirubra* und *C. Ledgeriana.* Radix Ipecacuanhae (Pharm. germ.,

austr., helv.) von *Uragoga Ipecacuanha.* Catechu (Gambir) (Pharm. germ., austr., helv.) von *Ourouparia Gambir.*

2. Familie ***Caprifoliaceae.*** Holzgewächse, meist ohne Nebenblätter. Blüten bisweilen dorsiventral. Fruchtknoten in der Regel dreifächerig. Beeren oder Steinfrüchte.

Fig. 716. Uragoga Ipecacuanha. $^1/_2$ nat. Gr. Fruchtstand daneben. — Officinell.

Fig. 717. Asperula odorata. $^2/_3$ nat. Gr. Einzelblüte und Längsschnitt durch eine solche. Vergr.

Unterfamilien und wichtige Gattungen: a) *Sambuceae* mit radiären Blüten und Steinfrüchten. *Viburnum*, Schneeball, einfache Blätter und einsamige Früchte. *Sambucus*, Holunder, mit unpaarig gefiederten Blättern, drüsigen Nebenblättern und drei

Steinen in der Frucht. *S. nigra* (Fig. 718), sehr häufiger Strauch des mittleren Europa, bringt flach schirmförmige Blütenstände: Rispen mit kreuzweise verzweigten Haupttrieben, deren letzte Endigungen, mit nach außen geförderten Zweigen Wickel darstellen. — b) *Lonicereae* mit dorsiventralen Blüten und Beerenfrüchten. *Lonicera periclymenum*, Gaisblatt, einheimische Liane. *Diervilla* (*Weigelia*), beliebter Zierstrauch.

Officinell: Flores Sambuci (Pharm. germ., austr., helv.) und Succus Sambuci (Pharm. helv.) von *Sambucus nigra*.

Fig. 718. Sambucus nigra. Blütenzweig und Fruchtstand. 1/2 nat. Gr. Einzelblüte vergr. — Officinell.

3. Familie ***Valerianaceae.*** Kräuter oder kleine Sträucher mit dekussierter Blattstellung und asymmetrischen Blüten. Kelch erst zur Fruchtzeit als Federkrone (Pappus) entwickelt. Krone fünfzählig, gespornt. Staubblätter 4, 3 oder 1. Fruchtblätter drei, jedoch nur ein Fach des Fruchtknotens fertil mit einer hängenden Samenanlage (Fig. 719, 720).

Gattungen: *Valeriana*, Baldrian; *V. officinalis*, Staude, in Europa weit verbreitet; mit dickem, kurzem, gekammertem Rhizom, das vielfach unterirdische Ausläufer treibt. Blätter unpaarig gefiedert. Blütenstand rispig. Sporn klein. Der an den einsamigen Früchten sich entwickelnde Haarkelch dient als Flugorgan ihrer Verbreitung durch den

Wind. *Valerianella*, kleine, unscheinbare Pflänzchen, *V. olitoria*, Feldsalat. *Centranthus ruber*, häufige Zierpflanze aus dem Mittelmeergebiet mit lang gespornten Blüten.

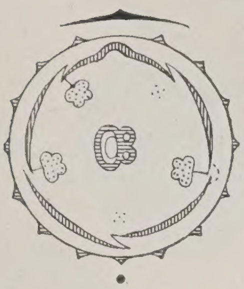


Fig. 719. Valeriana. Diagramm.

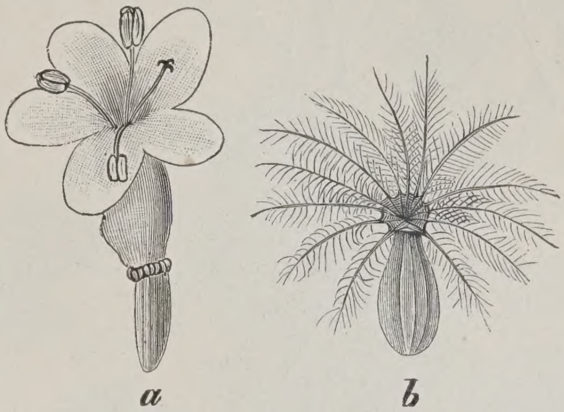


Fig. 720. Valeriana officinalis. *a* Blüte. Vergr. 8. *b* Frucht. Vergr. 4. — Officinell.

Officinell: Radix Valerianae (Pharm. germ., austr., helv.) von *Valeriana officinalis*; ebendaher: Oleum Valerianae (Pharm. austr.).

8. Ordnung. Campanulinae.

Kräuter mit einfachen, ganzrandigen, wechselständigen Blättern ohne Nebenblätter entsprechen dieser Ordnung. Blüten meist von der Formel: K 5, C (5), A 5, G $(\overline{2-3})$, doch kommen auch fünf Fruchtblätter vor. Ein wohlentwickelter Kelch, der Blütenachse eingefügte Staubblätter mit verklebten Antheren sind charakteristisch.

1. Familie ***Campanulaceae.*** Milchsaft führende Kräuter mit radiären Blüten und in der Regel dreifächerigem Fruchtknoten, der sich zu einer Kapsel entwickelt (Fig. 721, 722).

Wichtige einheimische Gattungen (60): *Campanula*, Glockenblume, bildet n zahlreichen Arten einen Hauptschmuck unserer sommerlichen Vegetation vermöge ihrer ansehnlichen, schön blauen Blüten. *Phyteuma*, mit ährenförmigen Blütenständen. Blumenkronblätter öffnen sich an der Basis, bleiben am Scheitel röhrig vereinigt, bis der bereits in der Knospe entleerte Pollen von den Griffelfeghaaren hinausgefegt ist; dann erst spreizen die solange geschlossenen Narbenschenkel auseinander. *Jasione*, durch kopfige Inflorescenzen und röhrig vereinigte Antheren den Compositen ähnlich.

2. Familie ***Lobeliaceae.*** Kräuter, den Campanulaceen sehr nahestehend, mit Milchsaft. Dorsiventrale Blüten; Fruchtblätter zwei. Medianes Kelchblatt auf der Vorderseite, vor einem tiefen Schlitz der Krone; durch Drehung der ganzen Blüte um 180° oder Übernicken wird (wie bei den Orchidaceen) die normale Stellung wiederhergestellt (Fig. 723). Einheimisch nur *Lobelia Dortmanni*, eine Wasserpflanze Norddeutschlands.

Officinell: Herba Lobeliae von *Lobelia inflata* aus Nordamerika (Fig. 724).

3. Familie ***Cucurbitaceae*** (61). Milchsaftlose, mit Ranken kletternde Kräuter, deren rauhhaarige Blätter herzförmig oder handförmig gelappt sind; Blüten diklin (monöcisch, seltener diöcisch verteilt). Kelch und Krone unterwärts miteinander verwachsen. Antheren paarweise oder sämtlich vereinigt, ∽förmig gekrümmt. Fruchtknoten dreifächerig. Beerenfrucht mit derber Schale und sechs großen, fleischigen, randständigen Placenten.

Wichtige Gattungen: *Cucumis sativus*, Gurke, und *C. Melo*, Melone, vielfach kultiviert. Ranken unverzweigt; aus der aufwärts gekehrten, d. h. dem Vegetationspunkt genäherten Seite des nicht genau quer inserierten Blattstiels hervorgehend; sie ent-

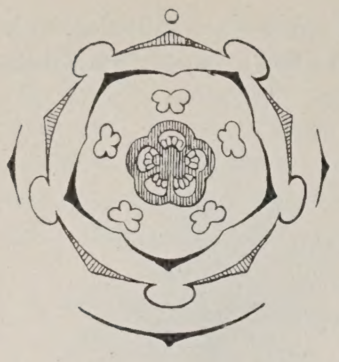


Fig. 721. Blütendiagramm von Campanula Medium. (Nach EICHLER.)

Fig. 723. Blütendiagramm von Lobelia fulgens. (Nach EICHLER.)

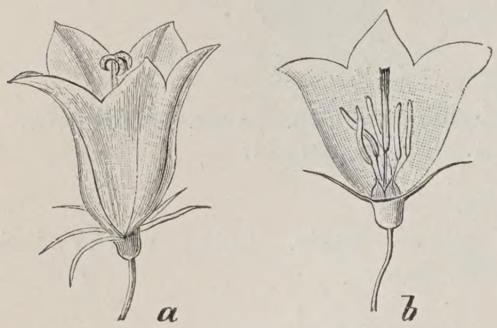


Fig. 722. Campanula rotundifolia. Blüte. Nat. Gr. *a* ganz, *b* im Längsschnitte.

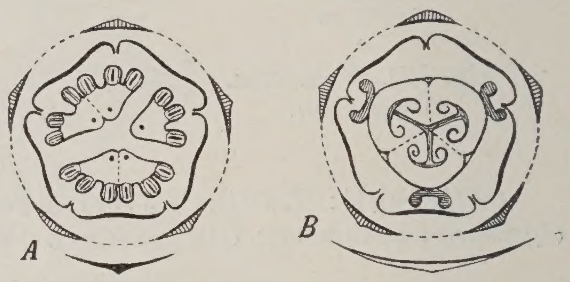


Fig. 725. Ecballium (Cucurbitaceae). Diagramm. *A* männlich, *B* weiblich. (Nach EICHLER.)

Fig. 724. Lobelia inflata. 2/3 nat. Gr. — Officinell.

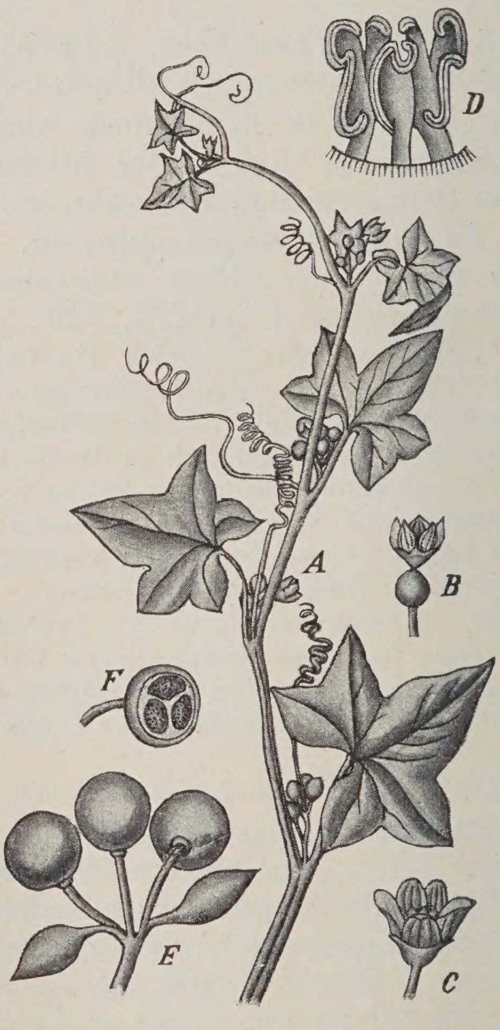


Fig. 726. Bryonia dioica. *A* blühender Zweig, verkl., *B* weibliche, *C* männliche Blüte, nat. Gr., *D* Andröceum, vergr., *E* Früchte, *F* Frucht im Querschn. — Giftig.

sprechen einem Nebenblatte. Weibliche Blüten einzeln, männliche zu mehreren beisammen, blattachselständig. Wie NOLL gezeigt, ist Bestäubung der Narbe zum Fruchtansatz der Gurke nicht notwendig. *Cucurbita Pepo*, Kürbis, mit verzweigten Ranken, welche Axillarsprosse der einfachen, an ihnen emporgewachsenen Ranke darstellen.

Fig. 727. Citrullus Colocynthis. $^1/_2$ nat. Gr. *1* Sproß mit männlicher und weiblicher Blüte, *2* Sproßgipfel mit männlichen Blütenknospen und Ranken, *3* männliche Blüte ausgebreitet, *4* weibliche Blüte längsdurchschnitten, *5* junge Frucht querdurchschnitten. — Officinell.

Rankenarme entsprechen je einem Blatte des Sprosses, führen demgemäß bisweilen auch Achselknospen. Blüten, männliche wie weibliche, einzeln blattachselständig. *Bryonia*, Zaunrübe, einheimisch (Fig. 726), giftig, besitzt dick angeschwollene fleischige Wurzeln, unverzweigte lange Ranken und blattachselständige Blütenstände. *Citrullus Colocynthis*, ausdauernde Pflanze der asiatischen und afrikanischen Wüsten nördlich vom

Äquator. Blätter tief dreilappig fiederschnittig, Ranken gegabelt oder einfach; männliche und weibliche Blüten einzeln in den Blattachseln. Früchte: trockene Beeren.

Officinell: Fructus Colocynthidis (Pharm. germ., austr., helv.) von *Citrullus Colocynthis* (Fig. 727).

9. Ordnung. Aggregatae.

Meist krautige Pflanzen, deren Blüten in Köpfchen vereinigt sind. Diese von gemeinsamem Hüllkelch umschlossen, Einzelkelch daher reduziert. Staubblätter der Krone angewachsen. Unterständiger Fruchtknoten einfächerig, mit einer Samenanlage. Schließfrüchte.

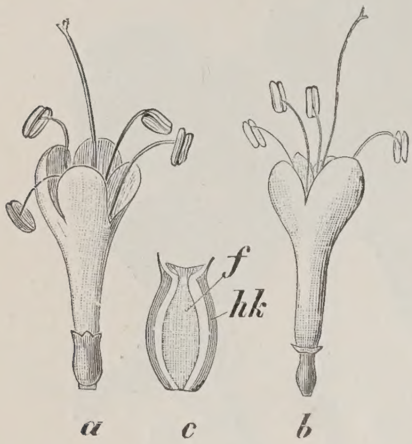


Fig. 728. Succisa pratensis. *a* Blüte mit Außenkelch, *b* ohne Außenkelch, *c* Frucht im Längsschnitt, *f* Fruchtknoten, *hk* Außenkelch.

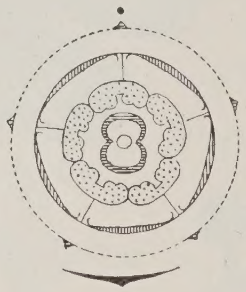


Fig. 729. Compositae. Diagramm (Carduus).

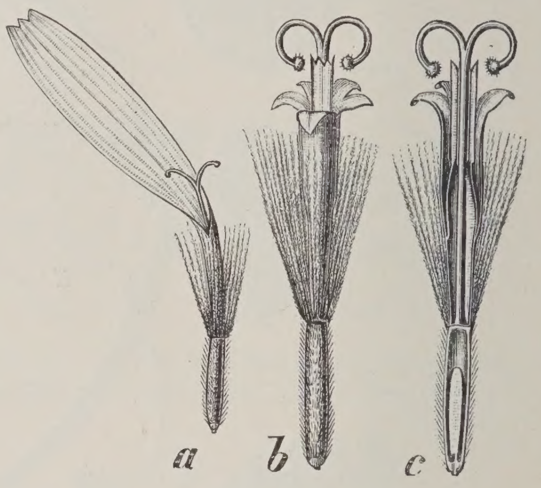


Fig. 730. Arnica montana. *a* Randblüte, *b* Scheibenblüte, *c* diese im Längsschnitt. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.)

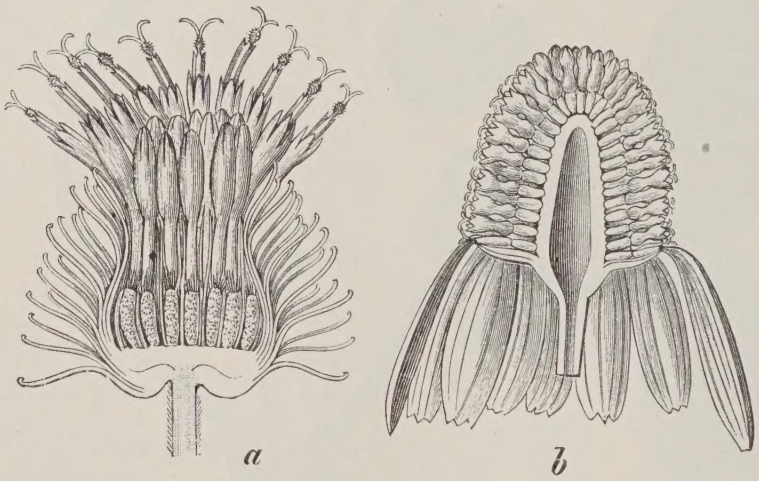


Fig. 731. *a* Lappa major. Köpfchen im Längsschnitt mit Spreublättchen. *b* Matricaria Chamomilla, ohne Spreublättchen. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.) — Officinell.

1. Familie ***Dipsacaceae.*** Kräuter mit gegenständigen Blättern. Einzelblüte mit Außenkelch, der auch an der Frucht erhalten bleibt. Vier- oder fünfzählig. Staubblätter vier, Antheren frei. Samenanlage anatrop, hängend. Samen endospermhaltig.

Wichtige Gattungen: *Dipsacus*, Karde mit stechenden Hüll- und Spreublättern; Köpfchen von *D. fullonum* zum Aufkratzen wollener Gewebe benutzt. Blüten vierteilig. *Succisa* (Fig. 728) mit ebenfalls vierteiliger Krone und Spreublättern auf dem gemeinsamen Blütenboden. *Scabiosa* mit größeren dorsiventralen Randblüten im Köpfchen, ebenfalls mit Spreublättern, aber fünfteiligen Blüten. Zierpflanzen. *Knautia*, ohne Spreublättchen.

2. Familie ***Compositae.*** Meist Kräuter von sehr verschiedenartigem Habitus, daneben einige in den Tropen vorkommende Bäume und Sträucher. Einzelblüten ohne Außenkelch, radiär oder dorsiventral. Blüten eines Köpfchens gleich oder verschieden. Staubblätter fünf, Antheren introrս, zu einer Röhre verklebt, welche vom noch unentwickelten Griffel unten geschlossen wird. Der frühzeitig in diese Röhre entleerte Pollen wird von den Feghaaren des sich streckenden Griffels nach oben hinausgedrängt. Griffel oben stets gegabelt. Samenanlagen anatrop, aufrecht (Fig. 732). Samen endospermlos. Früchte: Achaenen, vielfach von einem als Kelch anzusehenden Haarkranze, dem Pappus, gekrönt, der ihrer Verbreitung durch Wind dient (Fig. 729—735). Charakteristisch ist auch, daß bei den Compositen die Reservestärke durch Inulin vertreten wird.

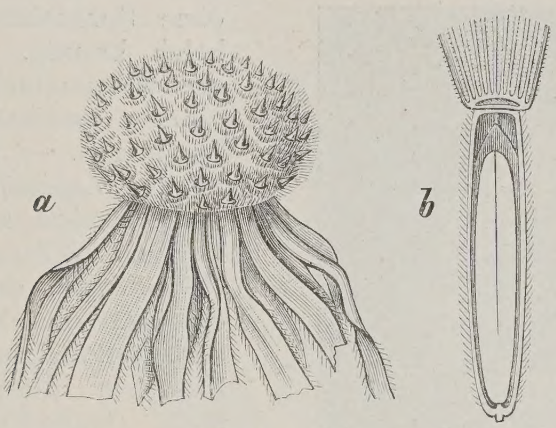


Fig. 732. Arnica montana. *a* Köpfchenachse, nach Entfernung der Früchte. Vergr. *b* Frucht im Längsschnitt; vom Pappus ist nur der untere Teil gezeichnet. Vergr. (Nach Berg und Schmidt.)

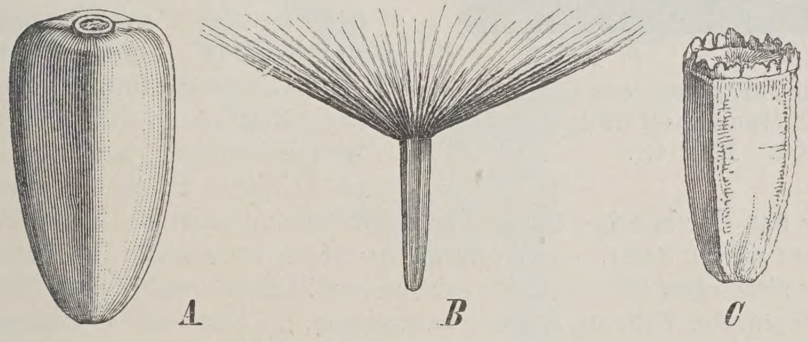


Fig. 734. Compositenfrüchte. *A* Helianthus annuus, *B* Hieracium virosum, *C* Cichorium Intybus. (Nach Baillon.)

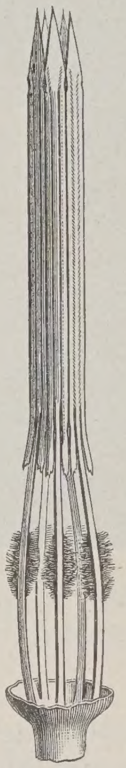


Fig. 733. Andröceum von Carduus crispus. Vergr. 10. (Nach Baillon.)

Die Einzelblüten sind entweder radiär mit fünflappiger Krone, sie heißen Röhrenblüten (Fig. 730 *b*, *c*), oder sie sind zweilippig, wie bei den Mutisieae Südamerikas; dabei pflegt die Oberlippe zwei, die Unterlippe drei Zipfel zu besitzen. Durch Unterdrückung der Oberlippe kommen einlippige Blüten zu stande, deren Unterlippe drei Zipfel zeigt (Fig. 730 *a*). Sehr ähnlich sind diesen letzteren die zungenförmigen Blüten, wie *Taraxacum* (Fig. 737) sie führt: einseitig tief gespalten, am Rande mit fünf Zipfeln. Häufig sind neben solchen Compositen, die nur Röhrenblüten oder nur Zungenblüten in ihren Köpfchen besitzen, andere, die in der Mitte Röhrenblüten (Scheibenblüten), am Rande einlippige Blüten (Randblüten) tragen (Fig. 731 *b*). Meist tritt dann außer einer etwa vorhandenen Differenz der Färbung eine solche des Geschlechts hinzu, indem die röhrenförmigen Scheibenblüten zwittrig, die einlippigen Randblüten rein weiblich sind, d. h. die Köpfchen sind heterogam (Matricaria, Arnica). Endlich finden sich bisweilen am Rand völlig steril gewordene Blüten (Centaurea Cyanus), die nur etwa als Schauapparat für Anlockung von Insekten dienen können.

Wichtige Unterfamilien und Gattungen. 1. Röhrenblüter (*Tubuliflorae*) nur radiäre Röhrenblüten im Köpfchen. a) *Cynareae*, Blütenboden (verbreiterte Blütenstandsachse) mit borstigen Spreublättchen und scharfstechenden oder häutigen Hüllkelchblättern in vielen Reihen. Alle Blüten zwittrig oder Randblüten unfruchtbar. Griffel unter den Narben ringförmig angeschwollen. Früchte mit Pappus. *Carduus* (Fig. 733), Distel mit haarförmigen Pappusborsten, *Cirsium*, mit federigen Pappushaaren, *Echinops*, mit einblütigen Köpfchen, die zu vielen vereinigt sind. *Lappa*, Klette (Fig. 731 *a*), Hüllkelchblätter mit hakenförmig gekrümmter Spitze. *Cynara Scolymus*, Artischocke. *Cnicus benedictus* (Fig. 736), Köpfchen einzeln, endständlig, in einer Hülle von Laubblättern. Hüllkelchblätter mit großem, z. T. gefiedertem Endstachel, spinnwebig behaart. Randblüten steril. Fruchtknoten mit doppeltem Pappus. *Centaurea* mit trockenhäutigem Hüllkelch und größeren, aber sterilen Randblüten im Köpfchen. Über Reizbarkeit von Cynareenstaubblättern vgl. Fig. 232 und S. 242. b) *Eupatorieae.* Blüten zwittrig, Blütenboden ohne Spreublättchen, Hüllkelch krautig. *Eupatorium cannabinum*, einheimisch. *Aggeratum mexicanum*, häufige Zierpflanze. — 2. Lippenblüter (*Labiatiflorae*). *Mutisieae*, tropisch amerikanische Formen.— 3. Zungenblüter (*Liguliflorae*). *Cichorieae*, nur dorsiventrale Zungenblüten mit fünfzähniger Krone im Köpfchen. Alle Blüten zwitterig. Gegliederte Milchsaftschläuche in allen Teilen. *Taraxacum officinale* (Fig. 737), häufige Pflanze der ganzen nördlichen Hemisphäre mit tiefgehender rübenförmiger Pfahlwurzel, einer Rosette grob schrotsägeförmig berandeter Blätter und endständigen Blütenköpfchen, jedes einzeln auf hohlem Stiele. Früchte schnabelförmig verlängert, so daß der haarige Pappus zu einer fallschirmartigen, gestielten Krone wird (Fig. 735). *Lactuca sativa*, Salat. *L. virosa*, giftig; reich verzweigtes hochstämmiges Kraut mit pfeilförmigen sitzenden Blättern und zahlreichen kleinen armblütigen Köpfchen in rispigem Gesamtblütenstande. Früchte wie bei Taraxacum. *L. Scariola* (62), Kompaßpflanze mit vertikal stehenden Blattflächen. *Cichorium Intybus*, Cichorie. *C. Endivia*, Endivie, blaublütige Köpfchen, Pappus in Form kurzer aufstehender Schüppchen (Fig. 734 *C*). *Tragopogon* und *Scorzonera* mit federigem Pappus. *Sc. hispanica*, Schwarzwurzel. *Crepis*, haarförmiger Pappus, weich biegsam, bräunlich. *Sonchus*, Pappusborsten vielreihig. *Hieracium* (63), ungeheuer formenreiche europäische Gattung. Pappus weiß, steif, zerbrechlich (Fig. 734 *B*). — 4. Zweierlei Blütenformen oder Blüten verschiedenen Geschlechtes im Köpfchen vereinigt (*Diversiflorae*). a) *Astereae*, Blütenboden glatt ohne Spreublättchen. Hüllkelchblätter dachziegelig, zahlreich. Zwittrige Röhrenblüten von weiblichen einlippigen Randblüten umgeben. Pappus meist borstenhaarig. Griffel mit geraden Schenkeln, Narben randständig. *Aster*, *Solidago*, *Erigeron*, drei in zahlreichen Arten in Europa, Amerika, Asien weitverbreitete Gattungen entsprechen etwa dem Typus der Astereen. *Aster*-Arten als Zierpflanzen bekannt. *Baccharis* (64), strauchige Formen Amerikas, diöcisch. *Haastia* (65)-Arten Neuseelands, polsterförmige, wollig behaarte Pflanzen, „vegetable sheep". b) *Inuleae*, wie vorige, aber mit geschwänzten Antheren. Hüllblätter oft trockenhäutig. *Inula*, einheimische Kräuter. *I. Helenium*, kultiviert. Bei *Gnaphalium*, *Antennaria*, *Helichrysum*, Immortellen, *Leontopodium*, Edelweiß, *Filago* u. a. der trockene Hüllkelch blumenkronartig gefärbt und mit flach ausgebreiteten Anhängseln; Blüten sämtlich röhrenförmig, jedoch Randblüten weiblich,

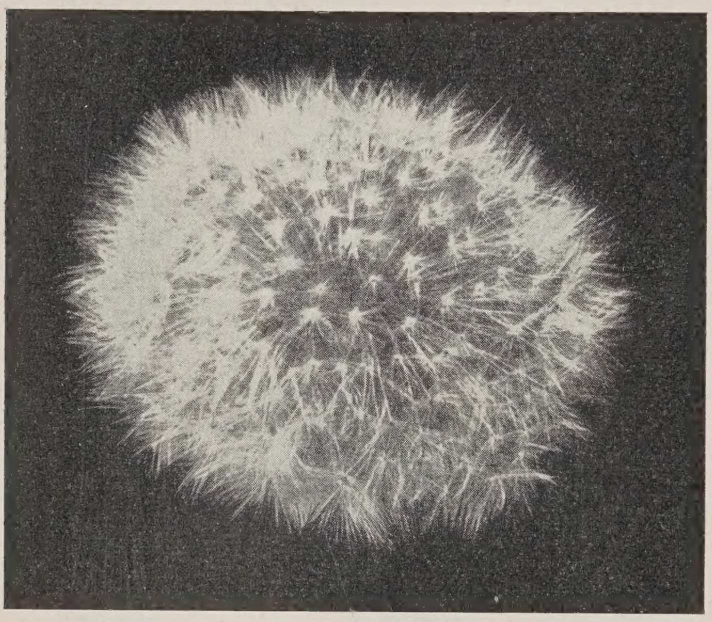


Fig. 735. Fruchtköpfchen von Taraxacum officinale. Haarkelch auf den Früchtchen durch einen stielförmigen Schnabel empor gehoben. Nat. Gr.

Scheibenblüten zwittrig. *Raoulia*(66) (vgl. Fig. 189), Haastia ähnlich und von gleichem Vorkommen. *Odontospermum pygmaeum* schließt die Hüllblätter um die Früchte fest zusammen, solange es trocken ist, öffnet sie bei Feuchtigkeit (Rose von Jericho). c) *Heliantheae*, Blütenboden mit Spreublättchen. Hüllkelch krautig. Scheibenblüten röhrenförmig, zwittrig. Randblüten einlippig, weiblich oder zwittrig, ungeschwänzte Antheren, kein Pappus oder aus Grannen, Schuppen u. dergl. gebildet. *Helianthus annuus*, Sonnenrose (Fig. 734 *A*). *H. tuberosus*, Topinambur. *Dahlia*, Georgine, Zierpflanze, sämtlich aus Amerika. *Bidens*, auch einheimisch, Kräuter mit gegenständigen Blättern, z. T. heterophyll. *Espeletia*(67), baumförmige oder krautige Charakterpflanzen der Páramos in Columbien und Venezuela. *Tagetes*, *Zinnia*, Zierpflanzen aus Amerika. d) *Anthemideae*, Blütenboden bald mit, bald ohne Spreublättchen, oder behaart. Hüllkelchblätter trockenhäutig berandet. Sonst wie vorige. *Achillea*, Schafgarbe, *Anthemis*, *Anacyclus* mit

Fig. 736. Cnicus benedictus. (Nach BAILLON.) — Officinell.

Spreublättchen. *Anthemis nobilis*, römische Kamille; Scheibenblüten allein im Köpfchen, oder auch mehr oder minder vollständig durch Lippenblüten ersetzt. *Anacyclus officinarum*, Bertramswurzel. Ohne Spreublättchen: *Matricaria*, *M. Chamomilla* (Fig. 731 *b* u. 738), echte Kamille; einjähriges, vielfach verästeltes Kraut mit kegelförmig emporwachsendem hohlem Blütenboden, gelben Scheibenblüten und zurückgeschlagenen weißen weiblichen Randblüten in den endständigen einzelnen Köpfchen. *Chrysanthemum*, *Chr. segetum*, Wucherblume. *Tanacetum*, Blüten alle röhrig, Randblüten rein weiblich. *Artemisia*, Blüten ebenfalls alle röhrenförmig; meist Randblüten weiblich, so *A. Absinthium*, Wermut; dagegen in dem armblütigen Köpfchen von *A. Cina* alle Blüten zwittrig. e) *Senecioneae*, Blütenboden kahl, Hüllblätter ein- bis zweireihig, Pappus haarförmig, fein, weiß; im übrigen wie vorige. *Tussilago Farfara*, Huflattich. Blüht vor Erscheinen der Blätter. Blütenstiel einköpfig, nur mit Schuppenblättern besetzt. Weibliche Randblüten

mehrreihig. Blätter groß, dicklich, herzförmig, unterwärts weißfilzig. *Petasites, P. officinalis*, Pestwurz. *Senecio*, vielgestaltige Pflanzen, überall verbreitet, einige baumförmig, andere succulent. *S. vulgaris* führt nur zwittrige Röhrenblüten, keine Randblüten.

Fig. 737. Taraxacum officinale. $^1/_2$ nat. Gr. Ein Fruchtstand mit zwei noch daraufsitzenden Früchten; der Pappus durch einen schnabelförmigen Auswuchs der Frucht gestielt. — Officinell.

Doronicum, Cineraria, verbreitete Zierpflanzen. *Arnica montana*, Wohlverleih (Fig. 732 u. 741) mit grundständiger Rosette aus zwei bis vier Paaren gegenständiger Blätter und endständiger, einköpfiger Blütenachse, deren gegenständige Vorblätter meist noch je

einen (seltener mehr) einköpfigen Blütenstand aus den Achselknospen entwickeln. *F. Calenduleae.* Früchte des Köpfchens unregelmäßig und sehr verschiedengestaltig. *Calendula*, Ringelblume.

Fig. 738. Matricaria Chamomilla. $^2/_3$ nat. Gr. — Officinell.

Fig. 739. Artemisia Cina. (Nach A. MEYER und SCHUMANN.) — Officinell.

Officinell: *Arnica montana* (Fig. 741) liefert: Rad. Arnicae (Pharm. austr.), Flores Arnicae (Pharm. germ., austr., helv.). — *Artemisia Absinthium*, Wermut: Herba Absinthii (ibid.). *Artemisia Cina* (Fig. 739), Turkestan: Flores Cinae und Santoninum (ibid.). — *Matricaria Chamomilla*, Kamille: Flores Chamomillae (ibid.)

und Oleum Chamomillae (Pharm. helv.). — *Cnicus benedictus* (Fig. 736) (Südeuropa): Herba Cardui benedicti (Pharm. germ., helv.). — *Tussilago Farfara* (Fig. 740), Huflattich: Folia Farfarae (Pharm. germ.). — *Achillea Millefolium*, Schafgarbe: Herba Millefolii (Pharm. austr.). — *Anthemis nobilis*: Flores Chamomillae romanae (Pharm. austr., helv.). — *Spilanthes oleracea* (Südamerika: Herba Spilanthis (Pharm.

Fig. 740. Tussilago Farfara. (Nach BAILLON.) — Officinell.

austr.). — *Lappa vulgaris*, Klette: Rad. Bardanae (ibid.). — *Anacyclus Pyrethrum* (Südeuropa): Rad. Pyrethri (ibid.). — *Taraxacum officinale*, Löwenzahn (Fig. 737): Rad. Taraxaci (Pharm. germ., austr., helv.) und Folia Taraxaci (Pharm. austr.). — *Lactuca virosa*, Giftlattich: Lactucarium (Pharm. austr.). — Vorderasiatische *Chrysanthemum*-Arten liefern das persische Insektenpulver.

Die fossilen Angiospermen([67]).

Die ersten zweifellosen Angiospermen zeigen sich in der oberen Kreide und zwar gleich in mannigfachen Formen, die ungefähr in gleichem Verhältnis wie jetzt zu Monokotylen und Dikotylen gehören. Gefunden sind zunächst nur Blätter, so daß die Bestimmungen zweifelhaft bleiben; doch zeigen sie große Ähnlichkeit mit denen jetzt lebender Angiospermen, hingegen gar keine mit solchen von Gymnospermen oder gar Pterido-

phyten; die hier vorhandene scharfe Trennung kann also durch die paläontologischen Funde nicht überbrückt werden.

Unter den Monokotylen sind ziemlich sicher Vertreter der Palmen (von der unteren Kreide an) zu erkennen; die Dikotylenblätter der Kreide werden, mit Zweifel, auf verschiedene, meist niedrig organisierte Typen zurückgeführt, namentlich auf Amentifloren,

Fig. 741. Arnica montana. $^1/_2$ nat. Gr. — Officinell.

jedoch auch Platanen, und sogar auf *Eucalyptus*. Im Eocän und Oligocän werden die Angiospermen sicher bestimmbar; es sind Angehörige noch existierender Familien, teilweise von tropischem oder subtropischem Charakter, sogar im nördlichen Europa, nämlich Palmen, *Dracaena*, *Smilax* usw. unter den Monokotylen, zahlreiche Amentifloren (namentlich *Quercus*), *Lauraceae* (*Cinnamomum* u. dergl.), *Leguminosae* usw.

Wenn schon von Beginn ihres Auftretens die fossilen Angiospermen für die Phylo-

genie unwesentlich sind, so ist das begreiflicherweise mit der Annäherung an die Gegenwart immer mehr der Fall. Die wenigen anfangs vorhandenen anscheinend ausgestorbenen Gattungen (z. B. *Dryophyllum*, angebliche Stammform der Eichen) schwinden schon im Eocän; vom Miocän an werden die Arten teilweise mit lebenden identisch; im Quaternär fehlen eigene Arten. Zwar war der Florencharakter zur Tertiärzeit in Europa ganz wesentlich von dem gegenwärtigen verschieden, er trug das Gepräge eines viel wärmeren Klimas und wies, wie für die Gymnospermen, Typen auf, die gegenwärtig nur noch in fernen Ländern existieren; doch ist es nicht Aufgabe der Systematik, diese Fragen zu erörtern.

Literaturnachweis.

Einleitung und Morphologie.

(1) E. HAECKEL, Generelle Morphologie der Organismen 1866, S. 52. (2) FRITZ MÜLLER, Für DARWIN 1864. (3) On the origin of species by means of natural selection 1859. (4) HUGO DE VRIES, Die Mutationstheorie 1901—1903. (5) CARL NÄGELI, Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre 1883. JULIUS SACHS, Flora Bd. 82, 1896, S. 173. (6) R. v. WETTSTEIN, zuletzt im Handbuch der systematischen Botanik 1901, S. 40. (7) Eine andere Auffassung vertritt K. GOEBEL, Organographie der Pflanzen 1898—1901. (8) K. GOEBEL, Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Pflanzenorgane 1883 und das zuvor citierte Werk; F. PAX, Allgemeine Morphologie der Pflanzen 1890. (9) K. GOEBEL, Organographie der Pflanzen 1898, S. 15, 261. (9a) K. GOEBEL, in (9), S. 35. (9b) K. GOEBEL, Biol. Centralbl., Bd. XXII. 1902, S. 388. (9c) K. GOEBEL in (9), S. 448. (10) A. W. EICHLER, Zur Entwicklungsgeschichte des Blattes 1865. (10a) K. GOEBEL in (9), S. 543. (11) K. GOEBEL, Bot. Ztg. 1880, S. 753. (12) S. SCHWENDENER, Mechanische Theorie der Blattstellungen 1878, sowie zahlreiche Aufsätze in den Stzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. (12a) HANS WINKLER, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXVI. 1901, S. 1, und Bd. XXXVIII. 1903, S. 501. Dort die übrige Literatur. (12b) WIESNER, Biol. Centralbl., Bd. XXIII. 1903, S. 200. (12c) K. GOEBEL, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. II. 1882, p. 357 ff. und Biol. Centralbl., Bd. XXII. 1902, S. 389; (12d) FREIDENFELT, Flora, Bd. 91. 1902, S. 115. (12e) ROSTOWZEW, Flora, Bd. 48. 1890, S. 155, und K. GOEBEL, Organographie, S. 436. (13) A. F. W. SCHIMPER, Die epiphytische Vegetation Amerikas 1888. (14) EUG. WARMING, zuletzt in ENGLER u. PRANTL, Nat. Pflanzenfamilien III. Teil 2. Abt. α, 1891, S. 2. (15) K. GOEBEL, Organographie der Pflanzen 1898, S. 435. (16) K. GOEBEL, Organographie der Pflanzen 1898, S. 121. (16a) HANS WINKLER, Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch. 1902, S. 81; K. GOEBEL, Biol. Centralbl., Bd. XXII. 1902, S. 385; Flora, Bd. 92. 1903, S. 132; ERNST KÜSTER, Pathologische Pflanzenanatomie 1903, S. 8. (17) Cytologische Studien aus dem Bonner botanischen Institut, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXX. 1897, S. 155. FR. MEVES, Verhandl. d. Anat. Gesell., sechzehnte Vers., Halle a. S. 1902, S. 152. (18) Vgl. einerseits ALFRED FISCHER, Untersuchungen über den Bau der Cyanophyceen und Bakterien 1897, andererseits ARTHUR MEYER, Flora, Ergänzungsband 1897, S. 185, und ROBERT HEGLER, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXVI. 1901, S. 229. (19) HUGO DE VRIES, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVI. 1885, S. 465. (20) BELAJEFF, Drei Aufsätze über Spermatogenese in den Ber. d. deutsch. bot. Gesell. 1897. S. 337 ff.; IKENO, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXII. 1898, S. 557; HIRASE, Journal of the College of Science Tokyo, Bd. XII. 1898, S. 105; HERBERT J. WEBBER, Botanical Gazette, Bd. XXIII. 1897, S. 453, Bd. XXIV. 1897, S. 16 und 225. (21) A. F. W. SCHIMPER, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVI. 1885, S. 1, und Bot. Ztg. 1880, S. 886. (22) L. MARCHLEWSKI, Abschnitt Chlorophyll, in Bd. VIII. von ROSCOE-SCHORLEMER, org. Chemie, 1901, S. 83; C. A. SCHUNCK, Proceed. Roy. Soc. London, Vol. LXV. 1900, S. 177, u. Vol. LXVIII. 1901, S. 474. (23) TSCHIRCH, Untersuch. üb. d. Chlorophyll, 1884. (24) L. MARCHLEWSKI, vergl. in (22). (25) C. A. SCHUNCK, briefl. Mitteil. vom 24. Mai 1902; Vergl. außerdem MOLISCH, Ber. d. deutsch. bot. Gesell. 1896, S. 27; TAMMES, Flora, Bd. 87. 1902, S. 205, u. KOHL, Unters. über d. Karotin etc. 1902. (26) E. STRASBURGER, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXI. 1898, S. 511. (27) PFEFFER, Unters. aus dem bot. Inst. zu Tübingen, Bd. I. 1885, S. 525; G. HABERLANDT, Sinnesorgane im Pflanzenreich 1901, S. 126. (28) W. ROTHERT, Anzeiger der Akad. d. Wiss. in Krakau 1897, S. 11. (29) Zahlreiche Untersuchungen von JULIUS WIESNER, zusammengestellt in seiner Anatomie und Physiologie der Pflanzen. IV. Aufl.

1898, S. 39 ff. u. 339, dann im besondern auch L. Mangin, Journ. de Bot. Bd. VII. 1893, S. 37, 121, 325. [30] Gilson, La cristallisation de la cellulose, in der Revue, La Cellule, Bd. IX. 1893, S. 397. [31] Gilson, Rech. chim. sur la Membrane cellulaire des Champignons, in der Revue, La Cellule, Bd. XI. 1894, S. 7. [32] Fr. Czapek, Hoppe-Seylers Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. XXVII. 1899, S. 141; Congrès internat. de Bot. Paris 1900. [33] Van Wisselingh, Archives Néerland. T. XXVI. 1892 u. T. XXXVIII. 1894. [34] Vgl. hierzu außerdem Z. Kamerling, Bot. Centralbl., Bd. 72. 1897, S. 85. [35] Klebs, Unters. aus dem bot. Inst. zu Tübingen, Bd. I. 1885, S. 582. [35a] Literatur bei Ernst Küster, Pathol. Pflanzenanat. 1903, S. 10. [35b] Molisch, Studien über Milchsaft und Schleimsaft der Pflanzen 1901. [36] Carl Nägeli, Die Stärkekörner 1858. [37] A. F. W. Schimper, Bot. Ztg. 1881, S. 223; Arthur Meyer, Unters. über die Stärkekörner 1895; vgl. auch Syniewski, Bull. internat. de l'Acad. d. sc. de Cracovie 1899, p. 245, der sich gegen A. Meyer, Unterscheidung von zwei physikalischen Modifikationen der Substanz der Stärkekörner erklärt. [38] H. Fischer, Beitr. z. Biol. d. Pfl., Bd. VIII. 1898, S. 53. [38b] Henry Kraemer, Bot. Gazette 1902, S. 341. [39] W. Pfeffer, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VIII. 1872, S. 472. [40] A. Zimmermann, Beitr. z. Morph. u. Phys. der Pflanzenzelle, Bd. I. 1891, S. 113. [41] L. Kny, Ber. d. deutsch. bot. Gesell. 1887, S. 387. [42] Léo Errera, L'épiplasme des Ascomycetes 1882 und andere Aufsätze. [43] M. Raciborski, Ber. d. deutsch. bot. Gesell. 1898, S. 52, 119 u. Flora 1898, S. 362. [44] Winogradsky, Bot. Ztg. 1887, S. 493 und Beiträge zur Morph. und Phys. der Bakterien 1888. [45] Hierzu auf botanischem Gebiet die zahlreichen Arbeiten von E. Strasburger, M. Treub, L. Guignard, Wl. Belajeff, J. Bretland Farmer, Nemec und anderen. [46] Die auf die Reduktion der Chromosomen bezüglichen Angaben sind in den Arbeiten der unter [45] genannten Autoren zu vergleichen. [47] Harper, Swingle, Strasburger, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXX. 1897, Mottier, Ber. d. deutsch. botan. Gesell. 1898, S. 124; Moore, daselbst, S. 266. [48] R. A. Harper, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXX. 1897, S. 249. [49] Hierzu auf botanischem Gebiete zahlreiche Arbeiten, besonders von G. Thuret, N. Pringsheim, E. Strasburger, L. Guignard, Nawaschin und anderen. [50] Besonders die Arbeiten von Wl. Belajeff, zuletzt in den Ber. d. deutsch. botan. Gesell. 1897, S. 337 ff. [51] Die unter [20] citierten Arbeiten von Ikeno, Hirase und J. Webber. [52] Al. Braun, Abhandl. d. Berl. Akad. 1856, S. 337; A. de Bary, Bot. Ztg. 1875, S. 379. [53] Shaw, Bot. Gazette, Bd. XXIV. 1897, S. 114; Alex. Nathansohn, Ber. d. deutsch. botan. Gesell. 1900, S. 99. [54] Juel, Botan. Centralbl., Bd. 74. 1898, S. 369, Abh. d. Kl. Schwed. Akad. d. Wiss., Bd. XXXIII. 1900, No. 5; Sw. Murbeck, Lunds Univ. Arskrift, Bd. XXXVI. Afd. II. No. 7; Kongl. Fysiogr. Sällsk. Handlingar, Bd. XI. No. 7, 1901. [54a] James Bertram Overton, Bot. Gazette, Vol. XXXIII. 1902, S. 363. [54b] M. Treub, Ann. du Jard. bot. de Buitenzorg, 1902, sér. II. Vol. III., S. 124. [55] Von der reichhaltigen Literatur seien nur angeführt die Arbeiten von Arthur Meyer in Bot. Ztg. 1896, I. Abt., S. 187, u. Ber. d. deutsch. bot. Gesell. 1897, S. 166, von W. Gardiner, fortgesetzt bis in die letzten Jahrgänge der Proc. of the Roy. Soc. und der Proc. of the Cambridge Phil. Soc.; E. Strasburger, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXVI. 1901, S. 493, dort die ganze Literatur; endlich Arthur W. Hill in Phil. Trans. Roy. Soc. London, Bd. CXCIV. 1901, S. 83, und Annals of Botany, Vol. XV. 1901, S. 575. [56] A. de Bary, Vgl. Anat. d. Vegetationsorgane 1877; G. Haberlandt, Physiol. Pflanzenanat. II. Aufl. 1896; H. Solereder, Syst. Anat. d. Dikotyledonen 1899. [56a] K. Kroemer, Bibl. Bot., Heft 59. 1903, S. 20. [57] E. Strasburger, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. V. 1866, S. 297. S. Schwendener, Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1881, S. 883 und andere. [58a] G. Haberlandt, Phys. Pflanzenanatomie II. Aufl. 1896, S. 417, Bot. Unters. Schwendener dargebracht 1899, S. 104; [58b] Ders. Sinnesorgane im Pflanzenreich 1901. [59] A. Nestler, Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft 1900, S. 189, 327; Peters, Stzber. d. Niederrh. Gesell. Bonn, Med. Sekt. 1900, S. 33. [59a] in [56a], S. 26. [60] Vgl. N. Wille, Beiträge zur physiol. Anat. der Laminariaceen 1897. [61] A. G. Tansley and Edith Chick, Annals of Botany, Vol. XV. 1901, S. 13. [62] in [58a], S. 300. [62a] Vergl. besonders Edward E. Jeffrey, Phil. Transact. Roy. Soc. London, Ser. B., Vol. 195. 1902, S. 119, u. W. C. Worsdell, Bot. Gazette, Vol. XXXIV. 1902, S. 216. [63] Alfred Fischer, Studien über die Siebröhren der Dikotylenblätter 1885. E. Strasburger, Über den Bau und die Verrichtung der Leitungsbahnen in den Pflanzen 1891, S. 98, 297. [64] Ph. van Tieghem, Traité de Botanique, II. Aufl. 1891, S. 737; E. Strasburger, das unter [63] citierte Werk; J. C. Schoute, Die Stelärtheorie 1902. [64a] Gegen die Stelärtheorie, vergl. vornehmlich Solms Laubach, Bot. Ztg. 1903, II. Abt., Sp. 37, 147. [64b] Haberlandt, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXVIII. 1902, S. 450. [65] in [56a], S. 94. [66] Gegen die Übereinstimmung zwischen Pericykel des Stammes und Pericambium der Wurzel spricht sich Hermann Fischer, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXV. 1900, S. 1, aus. [67] G. Haberlandt in [58a], S. 236. [68] Besonders in dem unter [56] genannten Werke von de Bary, S. 243 ff. [68a] J. C. Schoute, Flora, Bd. 92. 1903, S. 32. [69] W. Eichler, Sitzber. d.

Berl. Akad. d. Wiss., Bd. XXVIII. 1886, S. 501. (70) Im besonderen das unter (56) genannte Werk von DE BARY, das unt. (63) citierte Werk von E. STRASBURGER, das unter (56) citierte Werk von HABERLANDT und die Arbeiten von BURGERSTEIN, vorn. in den Schriften d. Wien. Akad. (70a) J. C. SCHOUTE, Verhandl. d. Koninkl. Akad. van Wetensch. Amsterdam, Tweede Sectie, Deel IX, No. 4. 1902. (71) H. MAYR, Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen, Jahrg. XXV. 1893, S. 313 u. a. (72) ALFRED FISCHER, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXII. 1890, S. 73. E. STRASBURGER unter (63), S. 883 ff. (73) L. KNY, Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch. 1890, S. 176, und E. STRASBURGER unter (63). (74) Besonders PH. VAN TIEGHEM, Traité de Botanique, II. Aufl. 1891, S. 719. (75) Besonders H. SCHENCK, Beiträge zur Biologie und Anatomie der Lianen 1892. (76) Nach Mitteilungen von BORZI. (77) A. B. FRANK, Bot. Ztg. 1864, S. 186; G. KRAUS, Abh. d. naturf. Ges. zu Halle, Bd. XVI. 1885, S. 365; E. STRASBURGER in (63), S. 107; R. MEISSNER, Bot. Ztg., I. Abt. 1894, S. 55, u. 1901, S. 25. (78) Besonders DE BARY in (56), S. 560; DAMM, Beihefte z. bot. Centralbl., Bd. XI. 1901, S. 222. (78a) HANNIG, Bot. Ztg., I. Abt. 1898, S. 24. (79) STAHL, Bot. Ztg. 1873, S. 561; im übrigen die Literatur bei HABERLANDT in (56), S. 407. (80) H. v. MOHL, Bot. Ztg. 1860, S. 1, 132, 273; v. BRETFELD, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, 1879—81, S. 133; VAN TIEGHEM, Traité de Bot., II. Aufl. 1891, Bd. I, S. 865; STABY, Flora 1886, S. 158: TISSON, Mém. de la Soc. Linn. de Normandie, Vol. XX. 1900. (80a) Literatur in dem unter (16a) genannten Werke von KÜSTER. (80b) A. B. FRANK, Die Krankheiten der Pflanzen, II. Aufl. 1895, Bd I, S. 81; KÜSTER in (16a). (81) H. LEITGEB, Untersuchungen über die Lebermoose, VI. Heft 1881. (82) AUGUSTE PYRAME DE CANDOLLE, Théorie élementaire de la Botanique. (83) E. DE WILDEMAN, Bd. LIII der Mémoires couronnés etc. publiés par l'Acad. de science de Belgique 1893. (84) H. LEITGEB in (81), Heft III. 1877, dort die übrige Literatur. (85) W. HOFMEISTER, Die Lehre von der Pflanzenzelle 1867, S. 135; dort die ältere Literatur; später im besonderen zahlreiche Arbeiten von LEITGEB; für Equisetum vgl. auch E. STRASBURGER, Bot. Praktikum IV. Aufl., S. 312, dort die Literatur. (86) J. SACHS, Arbeiten des bot. Inst. in Würzburg, Bd. II. 1878 u. 1879, S. 46 und 185. (87) JOHANNES HANSTEIN, Festschr. d. niederrh. Gesell. f. Natur- und Heilkunde 1868, S. 109. (88) L. ERRERA, Bull. de la soc. Belge de Microscopie, Bd. XIII. S. 12, 1886 und in 60. Vers. deutsch. Naturforscher u. Ärzte zu Wiesbaden, Biol. Centralbl. 1887—88, S. 728; BERTHOLD, Studien über Protoplasmamechanik 1886, S. 219; vgl. auch DE WILDEMAN in (83). (89) C. NÄGELI und LEITGEB, Beitr. z. wiss. Bot. von C. NÄGELI, IV. Heft 1868, S. 73. (89a) ROSTOWZEW, Flora, Bd. 48. 1890. S. 155. (90) Besonders E. v. JANCZEWSKI, Ann. des sc. nat. Bot. 5. Ser. Bd. XX. 1874, S. 162 und 208 und PH. VAN TIEGHEM, Traité de Bot., II. Aufl. 1891, S. 694, dort die Literatur. (90a) K. GOEBEL, Organographie der Pflanzen, 1898, S. 448. (91) ALFRED KOCH, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXV. 1893, S. 380. (92) Besonders PH. VAN TIEGHEM in (90), S. 700, dort die Literatur. (93) Besonders O. PENZIG, Pflanzen-Teratologie 1890, dort die Literatur; K. GOEBEL, Organographie der Pflanzen 1898, S. 152; ERNST KÜSTER in (16a); WERNER MAGNUS, Ber. d. deutsch. bot. Gesell. 1903, S. 129. (94) HUGO DE VRIES in (4), S. 115 ff.

Physiologie.

Für eingehendere Studien sei auf die entsprechenden Abschnitte der neuen Auflage von PFEFFER, Pflanzenphysiologie (I. Bd. Stoffwechsel, Leipzig 1897, II. Bd. Kraftwechsel, 1. Hälfte, Leipzig 1901) hingewiesen, sowie auf den dort gegebenen ausführlicheren Literatur-Nachweis.

Die in [ ] angeführten Schriften konnten, weil nach Abschluß des Reindrucks erschienen, leider im Texte nicht mehr berücksichtigt werden.

(1) MÜLLER-THURGAU, Landwirtsch. Jahrb. 1880. MOLISCH, Sitz-Ber. k. Akad. d. Wiss. zu Wien 1896. DALMER, Flora 1895. R. PICTET, Arch. d. scienc. phys. et nat. de Genève 1898, III. sér. Bd. XXX, S. 311. BROWN u. ESCOMBE, Proceed. Roy. Soc. Bd. LXII. 1898. MACFADYEN, Proceed. Roy. Soc. 56, 66, 1900 u. 71, 1902. LÖWENSTEIN, Ber. Dtsch. Bot. Ges. 21, 1903. (2) ANDREWS, Jahrb. f. wiss. Bot. 38. 1902. MOTTIER, Annals of Bot. XIII. 1899. MIEHE, Flora, Bd. 88. 1901. FRÜH, Abbildung d. vorherrschenden Winde durch d. Pflanzenwelt. Zürich 1901/02. (3) PFEFFER, Osmotische Untersuchungen 1877. DE VRIES, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIV. Ebenda Bd. XVI. (4) SCHWENDENER, Das mechan. Princip im anatom. Bau der Monokotylen 1879. HABERLANDT, Physiolog. Pflanzenanatomie, II. Aufl. 1896, S. 134 ff. (5) AMBRONN, Jahrb. für wiss. Bot., Bd. XII. (6) HEGLER, COHN's Beitr. z. Biol. Bd. VI. 1893. F. SCHWARZ, Phys. Unters. üb. Dickenwachst. u. Holzqual. von Pinus silv. Berlin 1899. HARTIG, Holzuntersuchungen. Berlin 1901. SONNTAG, Jahrb. für wiss. Bot. 39. 1903. WIEDERSHEIM, Ebda. 38. 1903. [O. MELVILLE BALL, Jahrb. f. wiss. Bot. 39. 1903.] (7) URSPRUNG, Ber. dtsch. Bot. Ges.

1901, S. 313. HARTIG, Holzuntersuch., Berlin 1901. S. 53. HABERLANDT, Bot. Tropenreise. Leipzig 1893. [NEGER, Blätter mit der Funktion von Stützorganen. Flora 92. 1903.] (8) NOLL, THIEL's Landw. Jahrb. Bd. XXIX. 1900. S. 361. Sitzungsber. Niederrh. Ges. f. Nat.- u. Heilk. Bonn. 11. Juni 1900. (9) WINOGRADSKY, Ann. de l'Inst. Pasteur 1890, 1891. Archiv d. sc. biol. Inst. imp. d. Méd. exper. à St. Pétersb. 1892. Centralbl. f. Bakteriol. 1896. STUTZER, Mitteil. d. Landw. Instituts d. Univ. Breslau 1898. BEHRENS, Arbt. d. Bakt. im Boden etc. Arb. deutsch. Landw. Gesell. 1901, Heft 64. (10) BEYERINCK u. VAN DELDEN, Centralbl. f. Bakt. II. 1902. Bd. 9. BEYERINCK u. VAN DELDEN (Bac. oligocarbophilus). Ebda. II. 1903. Bd. 10. BENECKE u. KEUTNER, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1903. XXI. [REINKE, Ber. dtsch. Bot. Ges. XXI. 1903. Heft 7.] (11) SAIDA, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1901. 20. J. KÜHN, FÜHLING's Landw. Ztg. 1901. S. 1. (12) BENECKE, Bot. Ztg. 1903. I. S. 79. v. PORTHEIM, Sitzber. Wien. Akad. Bd. 110. I. (13) v. D. CRONE, Sitzber. Niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde. Bonn. 1902. (14) WIEGMANN u. POLSTORFF, Über die anorgan. Bestandteile d. Pflanzen 1842. — Vgl. v. LIPPMANN, in Chemikerzeitung 1894. (15) E. WOLFF, Aschenanalysen von land- und forstw. Produkten 1871 u. 1880. (16) N. WILLE, Festschrift f. SCHWENDENER 1899. S. 321. (17) PFEFFER, Landw. Jahrb. 1876. Osmotische Untersuchungen 1877. Zur Kenntnis d. Plasmahaut u. d. Vakuolen, Abh. math.-phys. Klasse Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. 1890. Über Aufnahme u. Ausgabe ungelöster Körper. Ebda. u. Pfl.-Phys., 2. Aufl. Bd. I. Kap. IV. COUPIN u. DEVAUX, Naturw. Rdschau. 1901. (18) NATHANSOHN, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1901, S. 509. PULST, Jahrb. f. wiss. Bot. 37. 1902. (19) G. SCHRÖDER, Über die Austrocknungsfähigkeit d. Pfl. Inaug.-Diss. Leipzig 1886. AL. BRAUN, Betrachtungen über die Verjüngung i. d. Natur 1850. S. 213. WOJINOVIC, Beitr. z. Anat. etc. von Selaginella lepidophylla. Inaug.-Diss. Breslau 1890. KURZWELLY, Jahrb. f. wiss. Bot. 38. 1903. (20) FRITZ MÜLLER, Kosmos, Bd. XIII. 1883 u. Prometheus, Bd. IX. Heft 1. (21) THIEL, Landw. Centralbl. 1870. NOBBE, Versuchsstat. 1875. (22) HALES, Ess. of veg. statics 1727. HOFMEISTER, Flora 1858, u. Ber. Sächs. Ges. d. Wiss. 1857. G. KRAUS, Flora 1882, u. Forschung a. d. Gebiet. d. Agrikult.-Phys. 1887. WIELER, COHN's Beiträge zur Biol. d. Pfl. 1893. BARANETZKY, Abh. naturf. Ges. Halle 1873. CHAMBERLAIN, Rech. s. l. sève ascend. Bull. du Lab. d. Bot. gén. de l'Univ. de Genève. Vol. II. 1897. PITRA, Jahrb. f. wiss. Bot. 1877. (23) FIGDOR, Sitzber. Wien. Akad. d. Wiss. CVII. 1898. MOLISCH, Bot. Ztg. I. 1902. (24) STRASBURGER, Leitungsbahnen, S. 537. VON HÖHNEL, Ueber d. negat. Druck d. Gefässluft. Inaug.-Diss. Strassb. 1876 u. Jahrb. wiss. Bot. 1879. NOLL, Sitzber. niederrh. Ges. Bonn 1897. STRASBURGER (Luftverdünnung) l. c. S. 712. BÖHM, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1889. SCHEIT, Jenaische Zeitschr. f. Naturwiss. 1885. DIXON and JOLY, Ann. of. Bot. 1895. Report of a Discussion on the ascent of water. British Soc. Liverpool, Sept. 1896. ASKENASY, Verhandl. naturhist.-med. Vereins Heidelberg 1895 u. 1896. STEINBRINCK, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1902. DIXON, Scient. Proceed. Roy. Dublin Soc. Vol. X. 1903. COPELAND, Bot. Gaz. 24. 1902. SACHS, Arb. Botan. Institut Würzburg, Bd. II. u. Ges. Abhandl. I. S. 23. (25) KAMERLING, Bot. Centralbl. 1898. S. STEINBRINCK unter (24). (26) BÖHM, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1889. ASKENASY, Verh. nat. med. Ver., Heidelberg 1896. STRASBURGER, Leitungsbahnen. (27) SCHWENDENER, Monatsber. Kgl. Akad. d. Wiss. Berlin. Juli 1881 u. Sitzber. d. Akad. d. Wiss. Berlin. 1889. LEITGEB, Mittlg. d. Bot. Inst. Graz 1886. STAHL, Bot. Ztg. 1894. KOHL, Bot. Beiblatt d. Leopoldina 1895. SACHS, Versuchsstat. 1859, Bd. I. FR. DARWIN, Phil. Transact. Roy. Soc. London, Vol. 190, Ser. B. S. 531. KINDERMANN, Sitzber. Wien. Akad. Math.-nat. Kl. XI, I, 1902. COPELAND, Ann. of Bot. LXII, 1902. (28) v. HÖHNEL, Mittlg. a. d. forstl. Versuchswesen Österreichs 1879 u. Forsch. a. d. Gebiet d. Agrikult.-Phys. 1881. HABERLANDT, Wiss.-prakt. Unters. a. d. Gebiete des Pflanzenbaues 1877. BÜSGEN, Bau u. Leben d. Waldbäume, 1897, S. 168. (29) Vergl. STAHL, DARWIN unter (27), BUSCALIONI u. POLACCI, Atti del Istit. bot. dell' Univ. di Pavia VII. 1902. (30) TREUB, Ann. Jard. Bot. Buitenzorg 1889. v. LAGERHEIM, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1891. KRAUS, Flora, Bd. LXXXI. KOORDERS, Ann. Jard. Bot. Buitenzorg 1897. [MOLISCH, Ber. dtsch. Bot. Ges. 21. 1903.] (31) GOEBEL, Flora 1897. GROOM, Ann. of Bot. 1897. HABERLANDT, Jahrb. f. wiss. Bot. 1897. LEPESCHKIN, Flora 1902, Bd. 90. (32) VOLKENS, Flora d. ägypt.-arab. Wüste 1887, S. 27. (33) NOLL, Flora 1893. (34) SCHIMPER, Die epiphytische Veget. Amerikas, 1888 und Indo-malayische Strandflora, 1891, S. 28. GOEBEL, Pflanzenbiolog. Schilderungen I. KIHLMANN, Pflanzenbiolog. Untersuchungen in Russisch-Lappland 1891. (35) Vgl. PFEFFER, Pfl.-Physiol. 2. Aufl. Bd. I. § 60. Den Angaben von KOHL, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1897. Heft 2, dass das Verhältnis wie 5:4 sei, liegt ein Rechenfehler zu Grunde. (36) ENGELMANN, Bot. Ztg. 1884, 1887, 1888, Verh. Akad. Amst. 1894. REINKE, Bot. Ztg. 1886. ENGELMANN, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1902. GAIDUKOW, Abh. Berl. Akad. d. Wiss. Anhang 1902. [PANTANELLI, Jahrb. f. wiss. Bot. 39. 1903.] (37) DETLEFSEN, Arb. Bot. Inst. Würzburg 1888, Bd. III. HOR. BROWN, Address to the Chem. Sect. Brit. Assoc. f. advance of Science 1900. REINKE, (Ergrünen) Sitzber. Preuß. Akad. Berlin 1893. (38) Wenn eine englische Recension diese Gleichung beanstandete, weil die Zwischenprodukte daraus nicht hervorgingen, so liegt

darin ein Verkennen des Charakters chemischer Gleichungen. Nach SCHLOESING Compt. rend. T. 131 wird mehr O frei, als CO_2 zersetzt wird. [39] KREUSLER, Landw. Jahrb. 1885. GODLEWSKI, Arb. Bot. Inst. Würzburg. Bd. I. S. 343. H. BROWN, vgl. unter No. 32. BROWN & ESCOMBE, FARMER & CHANDLER, Proceed. Roy. Soc. 1902, LXX. [40] H. BROWN & ESCOMBE, Static diffusion of gases and liquids in relat. to the assim. of carbon and translocat. in Plants. Philos. Transact. of the Roy. Soc. Ser. B. 193. 223, 1900. [41] F. HOFMEISTER, Die chemische Organisation der Zelle. Braunschweig bei F. VIEWEG u. Sohn 1901. (Naturw. Rundschau 16. 1901, S. 581 ff.) G. BREDIG, Anorgan. Fermente etc. Leipzig, W. ENGELMANN 1901. S. BENECKE unter [12]. [42] SCHULZE, Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. XXIV. 18. Landw. Jahrb. Bd. XXVII. [43] W. OSTWALD, Ueber Katalyse. Naturw. Rundschau, 16. Jahrg. 1901, S. 529 u. 545. HOFMEISTER, Ebda. S. 581 ff. G. BREDIG l. c. CZAPEK, Antifermente. Ber. dtsch. Bot. Ges. XXI. 1903. [44] [WEEVERS (Glucoside) Jahrb. f. wiss. Bot. 39. 1903.] BEYERINCK, On the formation of Indigo etc. Verh. Kon. Akad. v. Wetenschap. te Amsterdam, 31. Sept. 1899. On Indigo-Fermentation. Ebda. 31. März 1900. MARCHLEWSKI, Bull. Acad. d. Sc. de Cracovie 1902, S. 227. W. BUSSE, Mitt. a. d. Labor. d. Kais. Gesdhts.-Amts 1900. [45] TREUB, (Pangium) Ann. Jard. Bot. Buitenzorg 1895. Im Übrigen PFEFFER, Pfl.-Phys. 2. Aufl. Bd. I. § 78—91. [46] SOLMS-LAUBACH, Bot. Ztg. 1874. Derselbe in ENGLER-PRANTL, Rafflesiaceae 1889, 35. Lfg. [47] L. KOCH, Jahrb. f. wiss. Bot. 1888, u. Ber. dtsch. Bot. Ges. 1887. HEINRICHER, Jahrb. f. wiss. Bot. 1897, 1898, 1901. v. WETTSTEIN, Ebda. u. Österr. Bot. Ztschr. 1897. JOHOW, Jahrb. f. wiss. Bot. 1889. GROOM, Ann. of Bot. 1895 u. Linn. Journ. Bot., Vol. 31. E. LAURENT, Compt. rend. t. CXXXIII, 1901. HEINRICHER, Jahrb. f. wiss. Bot. 34, 1901 und ebda. 37, 1902. [48] JANSE, Ann. Jard. Bot. Buitenzorg 1896. FRANK, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1885, 1887, 1888, 1891, Lehrbuch Bd. I, S. 259. KAMIENSKI, Bot. Ztg. 1881. PFEFFER, Landw. Jahrb. 1877. TREUB, Ann. Jard. Bot. Buitenzorg 1886. SARAUW, Bot. Tidsskrift Bd. XVIII. p. 127. E. STAHL, Jahrb. f. wiss. Bot. 1900, Bd. XXXIV. S. 539. W. MAGNUS, Ebda. Bd. XXXV. S. 205. MAC DOUGAL & LLOYD, Bull. of the New York Bot. Garden Vol. I. No. 5. 1900, S. 419. MÖLLER, Ztschr. f. Forst- u. Jagdwesen. 1902. SHIBATA, Jahrb. f. wiss. Bot. 37, 1902. HILTNER, Naturw. Ztschr. f. Land- u. Forstwissensch. I. 1903. [49] FRANK, Landw. Jahrb. 1888, 1890, 1892, u. Bot. Ztg. 1893. HELLRIEGEL, Untersuch. über die Stickstoffnahrung der Gramineen u. Leguminosen 1888, u. Bericht dtsch. Bot. Ges. 1889. BEYERINCK, Bot. Ztg. 1888. NOBBE, Versuchsstat. 1893, 1894, 1896. STUTZER, Centralbl. f. Bakteriol. 1895. ZINSSER, Jahrb. f. wiss. Bot. 1897. NOBBE u. HILTNER, Versuchsstat. XLV. HILTNER, Arb. biol. Abthlg. f. Land- u. Forstw. Kaiserl. Ges.-Amt Heft 2, 1900, S. 177. [50] ABEL u. BUTTENBERG, Zeitschr. f. Hygiene, Bd. XXXII. S. 449. GALLI-VALERIO u. STRYGOWSKI, Pharm. Post 1900. Heft 45. [51] BEYERINCK, Kon. Akad. van Wetensch. Amsterdam 1898. [52] SACHS, Bot. Ztg. 1853. DE BARY, Die Erscheinung der Symbiose. Straßburg 1879. SCHWENDENER, NÄGELI's Beiträge z. wiss. Bot. 1861, 1862, 1868, u. Flora 1872. Ueber Algentypen der Flechtenconidien, 1869. BORNET, Rech. sur les gonidies des lich. Ann. sc. nat. 5e sér. Tome XVII. STAHL, Beitr. zur Entwickl.-Gesch. d. Flechten, 1877 u. 1878. REESS, Monatsber. Berlin. Akad. d. Wissensch. 1871. STRASBURGER, Deutsch. Rundschau 1891. ARTARI, Bull. d. sc. nat. de Moscou 1899, No. 1. [53] STRASBURGER, Ueber Azolla, 1873. [54] BRANDT, Arch. f. Anat. u. Phys. (Phys. Abt.) 1882. BELT, Naturalist in Nicaragua, London 1874. SCHIMPER, Wechselbeziehungen zw. Pflanzen u. Ameisen, 1888. WARBURG, Biol. Centralbl. 1892. A. MÖLLER, Pilzgärten einiger südam. Ameisen, 1893. FAIRCHILD & COOK, Science 1898. HOLTERMANN, Festschrift für SCHWENDENER 1899. RACIBORSKI, Flora 1900, S. 87. [55] CLAUTRIAU, Mém. publ. par l'acad. roy. de Belgique t. 59. 1900. [56] GRIFFON, Compt. rend. 1900. Bd. CXXX. S. 1337. PURIEWITSCH, Physiol. Unters. üb. Pflanzenatmung. Jahrb. f. wiss. Bot. 1900, Bd. XXXV. S. 573. [57] WORTMANN, Arb. Bot. Inst. Würzburg 1880. WILSON, Flora 1882. PFEFFER, Unters. Bot. Inst. Tübingen 1885. E. GODLEWSKI sen. u. POLZENIUSZ, Bull. Krak. Lit. Akad., 1. April 1901. KOSTYTSCHEW, Ber. dtsch. Bot. Ges. XX. 1902. [58] WINOGRADSKY, s. u. No. 6 und Bot. Ztg. 1887, 1888. MOLISCH, Die Pflanze in ihrer Bez. z. Eisen, 1892. PFEFFER, Energetik, 1892. PFEFFER, Pflanzenphysiol. 2. Aufl. Bd. I. Kap. IX. BUCHNER und RAPP, Zeitschr. f. Biol. Bd. XXXVII. 1898. NATHANSOHN, Mitt. d. zool. Station Neapel 15. 1902. [HINZE, Ber. dtsch. Bot. Ges. 21, 1903.] [59] REINKE, Wissensch. Meeresunters. Neue Folge. Bd. III. Heft 2, S. 39. MOLISCH, Bot. Ztg. I. Abt. 1903 Heft 1. [60] NOLL, Arb. Bot. Inst. Würzburg. III. 1888. MOLISCH, Sitzber. Wien. Akad. d. Wiss. CX. 1901. [61] STAHL, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1885. K. ROSENVINGE, Rev. génér. de Bot. Bd. I. 1889, No. 2—5. H. WINKLER, Ber. dtsch. Bot. Ges. Bd. XVIII. 1900, S. 297. [62] MÜLLER-THURGAU, Landw. Jahrb. d. Schweiz 1898. Bd. XII. S. 135. [63] FRITZ MÜLLER, Kosmos, 6. Jahrg. 1882, Heft 5. SWINGLE, Science 1899. N. S. Vol. X. S. 507. NOLL, Parthenokarpie d. Gurke, Sitzber. Niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde. Bonn 1902. [64] VÖCHTING, Ueber Organbildg. im Pflanzenreich, 1878. SACHS, Arb. Bot. Inst. Würzburg, Bd. II. 1880 u. 1882. NOLL, Ebda. 1888. SACHS, Vorles. No. 31. 1882. GOEBEL, Organogr. 2. Theil. II. Bd. Heft 1,

S. 435 ff. KLEBS, Willkürl. Entwicklungsänderungen. Jena 1903. (65) HARTING, Linnaea 1847. SACHS, Jahrb. f. wiss. Bot. 1860, und Arb. Bot. Inst. Würzburg. Bd. I. 1874. STREHL, Unters. üb. d. Längenwachstum etc. 1874. ASKENASY, Verh. Naturhist.-med. Ver. Heidelberg 1878. (66) NÄGELI, Stärkekörner 1858. BÜTSCHLI, Über d. Bau quellbarer Körper etc. Verh. K. Ges. d. Wiss. Göttingen 1896. PFEFFER, Pfl.-Phys. 2. Aufl. Bd. I. § 12. (67) ASKENASY, Verh. nat.-med. Ver. Heidelbg. 1878. PFITZER, Ebda. 1882. JANSE, Maandbl. v. Natuurwetensch. 1887. CASPARY, Flora 1856. F. BENECKE, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1893. G. KRAUS, Ann. Jard. Bot. Buitenzorg, Vol. XII. S. 196. BÜCHNER (In.-Diss.), Leipzig 1901. (68) POPOVICI, Bot. Centralbl. 1900, Bd. LXXXI. S. 33 u. 87. (69) PFEFFER, Pfl.-Phys., 2. Aufl. Bd. II. Kap. VI. SACHS, Arb. Bot. Inst. Würzburg 1871. N. ONO, Journ. Coll. Sc. Imp. Univ. Tokyo 1900. 13. 1. (70) PEDERSEN, Arb. Bot. Inst. Würzburg 1874. v. LIEBENBERG, Bot. Centralbl. 1884. PAMMER, Oesterr.-ungar. Ztschr. f. Zuckerind. u. Landw. 1892. SCHINDLER, Die Lehre v. Pflanzenbau. Wien, C. FROMME 1896. Allgem. Teil, S. 79. (71) KARSTEN, Bot. Ztg. 1888. ASKENASY, Ebda 1870. H. SCHENCK, Biol. d. Wassergewächse, 1886. GOEBEL, Pflanzenbiol. Schilderungen II. Abschn. VI. MC. CALLUM, Bot. Gaz. XXXIV. 1902. HEGLER, in COHN's Beitr. z. Biol. d. Pfl., Bd. VI. 1893. PFEFFER, Über Druck- und Arbeitsleistung durch wachs. Pflanzen. Abh. K. Sächs. Ges. d. Wiss. 1893, Bd. XX. KNY, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1896. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XXXVII. 1900, S. 55. NĚMEC, Flora 1899. (72) PFEFFER, Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. Bd. II. Kap. IX. v. WETTSTEIN, Denkschriften d. math.-naturw. Kl. d. Wien. Akad. der Wissensch. 1900, Bd. LXX. S. 305. RACIBORSKI, Ann. Buitenzg. 2. Ser. 2. 1. URSPRUNG, Bot. Ztg. I. Abt. 1901. (73) W. JOHANNSEN, Das Ätherverfahren beim Frühtreiben etc. Jena, Gustav Fischer, 1900. B. SCHMIDT, Ruheperiode der Kartoffelknollen. Ber. dtsch. Bot. Ges. 1901, S. 76. (74) STRASBURGER, Deutsche Rundschau, 1898, S. 402; 1899, S. 90. Abbildg. d. Taxodium mexicanum v. TULE im Prometheus XIV, 1903, S. 648. (75) ENGELMANN, Bot. Ztg. 1881, 1883, 1886, 1887. PFEFFER, Untersuch. Bot. Inst. Tübingen. Bd. II. ROTHERT, Flora 1901, Bd. LXXXVIII. S. 406. v. DUNGERN, Zeitschr. f. allg. Physiol. I, 1. BULLER, Ann. of Bot. 1900. (76) KÜHNE, Ztschr. f. Biol. Bd. XXXV. N. F. 17. 1897. RITTER, Flora 1899, Bd. LXXXVI. S. 329. JOSING, Jahrb. f. wiss. Bot. 36. 1901. [KRETZSCHMAR, Jahrb. f. wiss. Bot. 39. 1903.] (77) ARTHUR, Annals of Bot. Vol. XI. 1897. TERNETZ, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XXXV. Heft 2. (78) STEINBRINCK in Ber. dtsch. Bot. Ges. 1897, 1898, 1899, 1901 u. SCHWENDENER-Festschr. 1899. KAMERLING, Flora 1898. Bot. Centralblatt 1898. SCHWENDENER, Sitzber. Preuss. Akad. 1899 u. SCHRODT, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1901, S. 483. URSPRUNG, Jahrb. f. wiss. Bot. 38, 1903. SCHWENDENER, Sitzber. Preuss. Akad. Berlin 1902. STEINBRINCK, Ber. dtsch. Bot. Ges. 20, 1902 u. 21, 1903. GOEBEL, Flora, 88 Bd. 1901. (79) SACHS, Arb. Bot. Inst. Würzburg 1878, Bd. II. VÖCHTING, Psychroklinie, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1898, S. 37. LIDFORSS, Jahrb. f. wiss. Bot. 38. 1902. NELJUBOW, Beihefte Bot. Centralbl. X. 1901. RICHTER, Ber. dtsch. Bot. Ges. 21. 1903. S. 180. SINGER, Flora, S. 175. (80) CZAPEK, Jahrb. f. wiss. Bot. 1895 u. Ebda. 1900. S. 313. DARWIN, F. Ann. of Bot. XIII. 1899. S. 567. NĚMEC, Die Reizleitung u. die reizleit. Gewebe. Jena, Gust. Fischer 1901. NĚMEC, Jahrb. f. wiss. Bot. 1901. HABERLANDT, Jahrb. f. wiss. Bot. 37. 1902 u. 38, 1903. NOLL, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1902. MIEHE, Jahrb. f. wiss. Bot. 37. 1902. MASSART, Mém. cour. Acad. Belg. Bruxelles 1902. DARWIN, Statolith Theory Proceed. Roy. Soc. 71. 1903. (81) NOLL, Flora 1893. STEYER, Reizkrümm. bei Phycomyces, Inaug.-Diss. Leipzig 1902. MOLISCH, Sitzber. Wien. Akad. m.-n. Kl. CXI, 1. (82) STAHL, Ueber sog. Kompaßpflanzen. Jen. Ztschr. f. Naturw. 1881. ARTHUR, Bull. Purdue Univ. 1894. (83) OLTMANNS, Flora 1892, 1897. (84) KNIGHT in OSTWALD's Klassikern, No. 62, 1895. NOLL, Het. Ind. Leipzig 1892. CZAPEK, Jahrb. f. wiss. Bot. 1898, Bd. XXXII. S. 224. NOLL, Ebda. 1900, Bd. XXXIV. S. 465. NĚMEC, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1900, S. 241 u. Jahrb. f. wiss. Bot. 1901, S. 2. HABERLANDT, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1900, S. 261. (85) BARANETZKY, Flora 1901, Ergzbd. LXXXIX. S. 138. NOLL, Arb. Bot. Inst. Würzburg, Bd. III. IX. u. XIII. SCHWENDENER u. KRABBE, Abh. Kgl. Pr. Akad. d. Wiss. Berlin 1892. NOLL, Flora 1892. MEISSNER, Bot. Centralbl. 1894. (86) BARANETZKY, Mém. Acad. imp. St. Pétersburg. II. Ser. T. 31. 1883. SCHWENDENER, Monatsber. Berlin. Akad. Dez. 1881. WORTMANN, Bot. Ztg. 1886. SACHS, Vorles. No. 38, 1882. H. SCHENCK, Beitr. z. Biol. der Lianen, 1892. NOLL, Heterog. Induktion 1892, S. 46. KOLKWITZ, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1895. (87) SACHS, l. c. Vorl. 38. NOLL, Heterog. Ind. S. 48. NOLL, Sitzber. Niederrh. Ges. f. Nat.- u. Heilk. 8. Juli 1901. (88) HARTIG, Holzuntersuchungen. Altes u. Neues. Berlin 1901. Cucurbitac.-Keimlinge: NOLL, Landw. Jahrb. 30. Ergänzbd. 1901. Lastkrümmung: WIESNER: Sitzber. d. K. Akad. d. Wiss. Wien. M.-N. Klasse. Bd. CXI. 1902. (89) WORTMANN, Bot. Ztg. 1881. M. MIYOSHI, Bot. Ztg. 1894 u. Flora 1894. MOLISCH, Sitzber. Wien. Akad. 1893. STAHL, Bot. Ztg. 1880. WORTMANN, Bot. Ztg. 1883, 1885. J. AF KLERKER, Ofversigt Kongl. Vetensk. Acad. Förh. 1891. BRUNCHORST, Bot. Centralbl. 1885, Bd. XXIII. HEGLER, Verh. Ges. Deutsch. Naturf. u. Aerzte 1891. NEWCOMBE, Science 1901. JUEL, Jahrb. f. wiss. Bot. 1900. Bd. XXXIV.

S. 507. BERG, Lunds Univ. Arsskrift 35, No. 6. (90) SACHS, Arb. Bot. Inst. Würzburg, Bd. II. 1882 (1879). NOLL, Het. Ind. Leipzig 1892, S. 12 u. 35. CZAPEK, Jahrb. f. wiss. Bot. 1898, Bd. XXXII. S. 188. NOLL, Jahrb. f. wiss. Bot. 1900, Bd. XXXIV. S. 459. BARANETZKY, Flora 1901. Ergänz.-Bd. 89. (91) NOLL, Flora 1893. (92) SCHWENDENER, Monatsber. Berl. Akad. Dez. 1881. O. MÜLLER, Ranken d. Cucurbitac. Inaug.-Diss. Breslau 1886. (COHN's Beitr., Bd. IV. Heft 2.) (93) PFEFFER, Unters. Bot. Inst. Tübingen, Bd. I. HABERLANDT Sinnesorgane. Leipz. 1901. FITTING, Jahrb. f. wiss. Bot. 38, 1903. (94) NORDHAUSEN, Jahrb. f. wiss. Bot. 1899, Bd. XXXIV. S. 236. PEIRCE, Ann. of Bot. 1894. (95) PFEFFER, Pflanzenphys. Unters. Leipzig 1871 und Periodische Bewegungen etc. 1875. OLTMANNS, Bot. Ztg. 1895. JOST, Jahrb. f. wiss. Bot. 1898. (96) Siehe unter (95) JOST; u. SCHWENDENER, Sitzber. K. Preuss. Akad. d. Wiss. 1897 u. 1898. (97) STAHL, Bot. Ztg. 1897, S. 71. A. FISCHER, Bot. Ztg. 1890. NOLL, Het. Ind. 1892, S. 9. (98) SACHS, Flora 1863. KABSCH, Bot. Ztg. 1861, 1862. DARWIN, Bewegungsvermögen 1881, S. 271. PFEFFER, Pfl.-Physiol., 1881. Bd. II. § 59. SACHS, Vorles. No. 34, 1882. (99) BURGERSTEIN, Jahrber. Erzherz. Rainer-Gymnas. Wien 1902. FARMER, New Phytologist. London. Vol. I. (100) HABERLANDT, Das reizleitende Gewebesystem der Sinnpflanze. Leipzig 1890. MAC DOUGAL, Botan. Gazette 1896. Vol. XXII. S. 293. (101) PFEFFER, Physiol. Untersuchungen 1873. (102) JOST, Bot. Ztg. 1897. MÖBIUS, Biol. Centralbl. 1891. (103) KLEBS, Biol. Centralbl. 1889 und Die Bedingungen der Fortpflanzung bei einigen Algen und Pilzen, 1896, und Jahrb. wiss. Bot. 1898 (Sporodinia). (104) BEYERINCK, Verh. Kon. Akad. v. Wetensch. Amsterdam 1900, S. 352. (105) v. KÖLLIKER, Ztschr. f. wiss. Zoologie, Bd. XIV. 1864, S. 174. H. DE VRIES, Die Mutationstheorie. Vers. u. Beobacht. über die Entstehung d. Arten im Pflanzenreich. Leipzig, VEIT & Co. 1901 u. Die Mutationen u. d. Mutationsperioden. Vortr. a. d. Naturf.-Vers. Hamburg. Leipzig 1901. MOLL, Biol. Centralbl. Bd. XXI. 1901, S. 257 (Referat). KORSCHINSKY, Flora 1901. Ergbd. LXXXIX. S. 240. (106) STRASBURGER, Über Polyembryonie. Jen. Ztschr. f. Naturwiss., Bd. XII. TREUB, Ann. Jard. Bot. Buitenzorg, XV, 1898. LOTSY, Ann. Buitenzorg, 1899. 2. Ser. I. S. 174. FARMER, MOORE u. DIGBY, Proceed. of the Roy. Soc. Vol. 71, 1903. Polyembryonie v. Euphorbia dulcis: HEGELMAIER, Ber. dtsch. Bot. Ges. 21. 1903. (107) AL. BRAUN, Abh. Kgl. Akad. d. Wiss. Berlin 1856. DE BARY, Bot. Ztg. 1875. JUEL, Bot. Centralbl. Bd. LXXIV. 1898. SHAW, Bot. Gaz. 1897, S. 114. JUEL, Kongl. Svenska Vetensk. Akad. Handl. Vol. XXXIII. No. 5, 1900. MURBECK, Lunds. Univ. Arsskrift. Bd. XXXVI. II. No. 7. OVERTON, Bot. Gaz. 33. 1902, Contrib. Hull. Bot. Lab. 35. 1902. DAY, Bot. Gaz. 22. 1896. TREUB, Ann. jard. bot. Buitenzorg. 2 sér. 3. 1902. (108) LOEB, Americ. Journ. of Phys. 1900. Vol. IV. S. 178. WINKLER, Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen 1900. Heft 2. NATHANSOHN, Ber. deutsch. Bot. Ges. 1900, S. 99. WINKLER, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXVI, 1901, S. 753. E. STRASBURGER, Bot. Ztg. 1901, II. Abth. S. 353. JICKELI, Unvollkommenh. d. Stoffwechsels etc. Berlin. Friedl. Sohn 1902 u. ebda. Vortrag Naturw. Vereins Siebenbürgen 1902. (109) HÄCKER (Vorkerne) Jen. Zeitschr. f. Naturw. 37. 1902. N. F. 30, auch Sep. bei G. Fischer. DE VRIES, Befruchtung u. Bastardierung, Leipzig, Veit u. Comp. 1903. (110) STEVENS, Bot. Gaz. 1899, Vol. XXVIII. S. 129, 225. STEVENS, Bot. Gaz. 1901. 32. WINKLER (Merogonie), Jahrb. f. wiss. Bot. 36, 1901. (111) SOLMS-LAUBACH, Bot. Ztg. 1900, II, 374. STRASBURGER, Bot. Ztg. 1900, II, 307; 1901, II, 353. WINKLER, Jahrb. f. wiss. Bot. 36. 1901, 753. (112) NAWASCHIN, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1900, Bd. XVIII. S. 224. GUIGNARD, Compt. rend. T. CXXVIII. 1899, S. 869 u. Ann. sc. nat. Bot. 8. sér. T. XI. 1900, S. 365. Journ. de Bot. 15. 1901. DE VRIES, Rev. gén. de Bot. Bd. XII. 1900, S. 129. CORRENS, Ber. deutsch. Bot. Ges. 1899, S. 410. STRASBURGER, Bot. Ztg. II. Abth. 1900, S. 293. CORRENS, Bastarde zw. Maisrassen etc. Bibl. Bot. 1901, Heft 53. (113) CORRENS, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1900, Bd. XVIII. S. 422. (114) H. SCHENCK, Die Biologie der Wassergewächse, 1886. (115) CHR. K. SPRENGEL, Das entdeckte Geheimnis d. Natur im Bau u. in der Befruchtung d. Blumen, 1793. (Auch in OSTWALD's Klassikern No. 48—51.) DARWIN, Ges. Werke. Übersetzg. v. V. CARUS 1877, Bd. IX. u. X. HERM. MÜLLER, Die Befruchtung der Blumen durch Insekten etc., 1873. F. HILDEBRANDT, Die Geschlechtsverteilung bei den Pflanzen etc., 1867. MAC LEOD, Bot. Jaarb. Dodon. Gent 1890, gibt 688, KNUTH im Handb. d. Blütenbiol. bis 1. April 1898 bereits 2871 dahin gehörende Schriften an. FR. JOHOW, Sitzber. K. Pr. Akad. d. Wiss. 1898. VOLKENS, in SCHWENDENER-Festschrift 1899. F. JOHOW, Z. Bestäubungsbiologie Chil. Blüten II, Verh. d. wiss. Ver. Santiago. Bd. IV. S. 345. Valpar. 1901. Hier ein Register von Ornithophilen. E. WERTH, Verh. d. bot. Ver. d. Pr. Brandenburg 1900, Bd. XLII. S. 222. BURCK (Chiropterophile), Ann. Buitenzg. 1892. HART, Bull. of misc. inform. 1897. MARLOTH, Ber. dtsch. Bot. Ges. 19, 1901. (116) HILDEBRANDT, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1896. (117) KOELREUTER, Vorläuf. Nachr. v. einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen, 1761, 1763, 1764, 1766. GÄRTNER, Versuche u. Beobacht. über Bastarderzeugung d. Pflanzen, 1849. MENDEL, Flora 1901. Ergzsbd. LXXXIX. S. 364. CORRENS, Bot. Ztg. 1900, Sp. 229. HILDEBRANDT, Bot. Centralbl. Bd. LXXIX.

1899. S. 9 u. 36. Solms-Laubach. Bot. Ztg. 1902, II. Abth. Sp. 10. (118) Strasburger, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XVII. 1886. (119) Correns, Sammelreferat Bot. Ztg. 1903. II. 113. Dort Literaturübersicht. de Vries, Compt. rend. 136, 1903. de Vries, Befruchtung u. Bastardierung. Leipzig, Veit u. Comp. 1903. Referat Naturw. Rundschau 1902. S. 640 und Naturw. Rundschau 1903. 241. Tschermak, Ztschr. f. d. Landw. Versuchsv. Österr. 1902. [Johannsen, Erblichkeit in Populationen etc. Jena, G. Fischer 1903.] (120) Teosinté: Contribut. from the Bot. Laborat. Univ. of Pennsylvania II. 1901. Cyt. Adami: Darwin, Ges. Werke, übers. v. Carus 1878. Vol. 3. Laubert, Bot. Centralblatt, Beihefte. X, 1901. Tischler, Ber. dtsch. Bot. Ges. 21. 1903. Crataegus: Köhne, Gartenflora 50. 1902. (121) Dingler, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1887, u. Flora 1887, u. Beweg. der pflanzlichen Flugorgane 1889. (122) Schimper, Indo-malayische Strandflora, 1891, S. 158ff. Schimper, Pflanzengeographie. Jena, G. Fischer. 1900. — In Fig. 241 wurde beim Abdruck aus Schimpers Pflanzengeogr. versehentlich die obere Figur unten hin gestellt. — (123) Burgerstein, Wiener Gartenzeitung 1901. Duggar, Bot. Gaz. 31. 1901. Schulz, Flora 11, 1901. Hartschaligkeit: Hiltner, Arb. Biol. Abt. Kais. Ges.-Amte, Land- u. Forstwirtschaft. 1901. Heinricher, Beihefte Bot. Centralbl. 13. 1902. Inga: Borzi, Atti d. Reale Acad. d. Lincei Rendiconti 1903. Ser. V. Vol. XII. Samenkeimung: (124) Peter, Nachr. Götting. Ges. d. Wiss. 1893. Schindler, Die Lehre vom Pflanzenbau auf physiol. Grundlage, 1896. S. 36ff. Hiltner, Arb. Biol. Abt. Kais. Ges.-Amte Land- u. Forstwirtschaft. 3. 1902. (125) Klebs, Unters. Bot. Inst. Tübingen, Bd. I. S. 536ff. (126) Pfitzer, Ber. dtsch. Bot. Ges. 1885. (127) Kürbis: vgl. (88). de Vries, Landw. Jahrbücher 1880. Rimbach, Die kontraktilen Wurzeln. Fünfstück's, Beitr. z. wiss. Bot., Bd. II. 1897 u. Ber. dtsch. Bot. Ges. 1899, Bd. XVII. S. 18.

Kryptogamen.

(1) Klebs, Die Beding. der Fortpflanz. bei einigen Algen und Pilzen, 1896 u. Jahrb. f. wiss. Bot. XXXII—XXXIV, ferner „Willkürl. Entwicklungsänderungen bei Pflanzen" 1903. (2) Senn in Nat. Pfl.-Fam. I_1. (3) Zumstein, Jahrb. f. wiss. Bot. XXXIV. (4) Schröter in Nat. Pfl.-Fam. I_1. de Bary, Vgl. Morph. u. Biol. der Pilze, Mycetozoën und Bakterien. 1884. Zopf, Die Pilztiere. 1885. Lister, A Monograph of the Mycetozoa. 1894. Harper, Bot. Gaz. XXX. (5) Woronin, Jahrb. f. wiss. Bot. XI. Nawaschin, Flora, 1899. (6) A. Fischer, Vorlesungen über Bakterien. 1897, 2. Aufl. 1903. Flügge, Die Mikroorganismen. 1896. Migula, System der Bakterien. 1897—1900. Migula, A. de Bary's Vorlesungen über Bakterien. 3. Aufl. 1900. A. Meyer, Flora. 1899. (7) Kirchner in Nat. Pfl.-Fam. I_1. A. Fischer, Unters. über den Bau der Cyanophyc. und Bakterien. 1897. Zacharias, Abhandl. aus d. Geb. d. Naturwiss. Hamburg 1900. Hegler, Jahrb. für wiss. Bot. XXXVI., Ref. von Zacharias, Bot. Ztg. 1901. Massart, Recueil de l'Institut Bot. de Bruxelles V. 1902. (8) Smith, Synopsis of the British Diatom. 1853—56. Van Heurck, Synopsis der Diatom. 1880—85, und Traité des Diatomées, Anvers 1899. Pfitzer in Bot. Abh. von Hanstein. I_2. 1871. Klebahn, Jahrb. f. wiss. Bot. XXIX. Karsten, Flora. 1896—1900 u. Die Diatomeen d. Kieler Bucht. 1899. Schütt in Nat. Pfl.-Fam. I_1 u. Jahrb. f. wiss. Bot. XXXIII u. XXXV. O. Müller, Ber. d. bot. Ges. 1898—1901. (9) Schütt, Das Pflanzenleben der Hochsee. 1893. Gran, Das Plankton des Norwegischen Nordmeeres. 1902. (10) Benecke, Jahrb. f. wiss. Bot. XXXV. Karsten, Flora. Egzbd. 1901. (11) Schütt in Nat. Pfl.-Fam. I_1 u. Die Perid. der Planktonexpedition. 1895. Schilling, Flora. 1891 u. Ber. d. bot. Ges. 1891. (12) de Bary, Unters. über die Conjugaten. 1858. Ralfs, The British Desmidieae 1848. Klebahn, Jahrb. f. wiss. Bot. XXII. Wille in Nat. Pfl.-Fam. I_2. Lütkemüller, Beitr. z. Biologie d. Pflanzen. VIII. 1902. (13) Kützing, Tabulae phycologicae. (14) Wille in Nat. Pfl.-Fam. I_2. (15) Senn, Bot. Ztg. 1899. Askenasy, Ber. d. Bot. Ges. 1888. (15a) Klebs, Bot. Ztg. 1891 u. Flora. 1890. Timberlake, Transactions of the Wisconsin Acad. XIII. u. Annals of Bot. XXXIV. Klebs, Beding. d. Fortpflanzung bei einigen Algen u. Pilzen. 1896. p. 133. (16) Klein, Jahrb. f. wiss. Bot. XX u. Ber. nat. Ges. Freiburg. 1890. Overton, Bot. Centralbl. XXXIX. A. Meyer, Bot. Ztg. 1896. (17) Dodel, Jahrb. f. wiss. Bot. X. (18) Klebs, Beding. d. Fortpflanzung bei Algen u. Pilzen. 1896. (19) Pringsheim, Jahrb. f. wiss. Bot. I. Juranyi, ibid. IX. Klebahn, ibid. XXIV. (20) Oltmanns, Flora. 1895. (21) Reinke, Wiss. Meeresunters. Kiel 1899. Weber van Bosse, Annales jard. Buitenzorg. XV. (22) De Bary u. Strasburger, Bot. Ztg. 1877. Solms-Laubach, Trans. Linn. Soc. 1895. (23) Kjellman in Nat. Pfl.-Fam. I_2. Postels et Ruprecht, Illustr. algarum Oceani pacifici 1840. Hooker, Flora antarctica. I. 1844. Reinke, Atlas deutscher Meeresalgen. 1889—1892. Reinke, Studien zur vergl. Entwicklungsgeschichte der Laminarien. Kiel 1903. (24) Hansteen, Jahrb. f. wiss. Bot.

XXXV. Hunger, Jahrb. f. wiss. Bot. XXXVIII. (25) Wille, Univers. Festschrift. Christiania 1897. (26) Berthold, Flora. 1897. Oltmanns, Flora. 1897 u. 1899. Sauvageau, Journ. de Bot. 1896—97. (27) Church, Annals of Bot. 1898. Sauvageau, Ann. sc. nat. 1899. (28) Thuret et Bornet, Étud. phycolog. 1877. Oltmanns, Bibl. botan. Heft 14. Strasburger, Jahrb. f. wiss. Bot. XXX. Farmer and Williams: Philos. Transactions Royal Soc. of London. Vol. 190. Series B. 1898. (29) Williams, Annals of Bot. XI. (30) Schmitz u. Hauptfleisch in Nat. Pfl.-Fam. I 2. Wille, Ber. d. Bot. Ges. 1894. u. Nova Acta. 1887. Osterhout, Flora. 1900. Oltmanns, Bot. Ztg. 1898. A. Hassenkamp, Bot. Ztg. 1902. Kolkwitz, Wiss. Meeresunters. Kiel 1900. Falkenberg, 26. Monogr. Fauna u. Flora des Golfes von Neapel, 1901. (31) Kuckuck, Sitzber. Akad. Berlin 1894. Sturch, Annals of Bot. XIII. (32) Wille in Nat. Pfl.-Fam. I 2. Migula in Rabenhorst, Krypt.-Flora Deutschland. 1890. Götz, Bot. Ztg. 1899. Giesenhagen, Flora. 1896 u. 1898. Goebel, Flora. 1902. (33) de Bary, Vgl. Morph. u. Biol. der Pilze etc. 1884. (34) Brefeld, Bot. Unters. über Schimmelpilze, Unters. aus dem Gesamtgebiet der Mykologie. 1872—1895. von Tavel, Vgl. Morph. der Pilze. 1892. (35) Schröter in Nat. Pfl.-Fam. I 1. (36) Cornu, Ann. sc. nat. 1872. Thaxter, Bot. Gaz. 1895. Lagerheim, Bihang till Svensk. Akad. Handl. XXV. (37) Trow, Annals of Bot. IX. XIII. Klebs, Jahrb. f. wiss. Bot. XXXIII. Davis, Bot. Gaz. XXXV. (38) Wager, Annals of Bot. IV. X. XIV. Berlese, Jahrb. f. wiss. Bot. XXXI. Davis, Bot. Gaz. XXIX. Stevens, Bot. Gaz. 1899, 1901, 1902 u. Ber. d. Bot. Ges. 1901. Trow, Annals of Bot. XV. Miyake, Annals of Bot. XV. Rosenberg, Bihang till. k. Svenska Akad. Bd. 28. Stockholm 1903. (39) Harper, Annals of Bot. XIII. Gruber, Ber. d. Bot. Ges. 1901. (40) Tulasne, Selecta Fungorum Carpologia 1861—65. Schröter, Lindau, Fischer in Nat. Pfl.-Fam. I 1. Harper, Annals of Bot. XIII. (41) Popta, Flora. 1899. (42) de Bary, Beitr. z. Morph. u. Phys. d. Pilze. III. 1870. Harper, Ber. d. Bot. Ges. 1895. u. Jahrb. f. wiss. Bot. XXIX. Neger, Flora. 1901 u. 1902. (43) Harper, Annals of Bot. XIV. (44) Krombholz, Abb. u. Beschreibungen der Schwämme. 1831—46. Lenz, Nützl., schädl. u. verdächt. Schwämme. 1890. Schlitzberger, Pilzbuch. Michael, Führer für Pilzfreunde. 1895. Röll, Unsere eßbaren Pilze. 1903. (45) Fischer, in Rabenhorst, Kryptog.-Flora. I 5. (46) Sadebeck, Jahrb. Hamburg. wiss. Anst. 1884, 1890, 1893. Giesenhagen, Flora. Egzbd. 1885 u. Bot. Ztg. 1901. Ikeno, Flora. 1903. (47) Guilliermond, Rév. génér. de Bot. 1903. (48) Thaxter, Mem. of Americ. Acad. Boston. 1896. Lindau, Nat. Pfl.-Fam. I 1. (49) Dietel, Lindau, Hennings, Fischer in Nat. Pfl.-Fam. I 1. Juel, Jahrb. f. wiss. Bot. XXXII. Ruhland, Bot. Ztg. 1901. Harper, Bot. Gaz. 1902. (50) R. Hartig, Krankh. d. Waldbäume. 1874 u. Lehrb. d. Pflanzenkrankheiten. 1900. (51) Harper, Transact. Wisconsin Acad. 1899. (52) Zahlreiche Abhandlungen von Magnus, Klebahn, Eriksson, E. Fischer, Lagerheim u. a. (53) R. Hartig, Der echte Hausschwamm. 1885; 2. Auflage von v. Tubeuf, 1902. A. Möller, Hedwigia 1903. (54) Möller, Pilzgärten südamerik. Ameisen. 1893. Holtermann, Schwendenerfestschrift. 1899. (55) E. Fischer, Denkschr. Schweizer nat. Ges. XXXII. u. XXXVI. Möller, Brasilische Pilzblumen. 1895. (56) Fünfstück und Zahlbruckner in Nat. Pfl.-Fam. I 1. Reinke, Jahrb. f. wiss. Bot. XXVI, XXVIII und XXIX. Schwendener, Algentypen der Flechtengonidien. 1869. Bonnier, Ann. sc. nat. 1889. Peirce, Proceed. Calif. acad. 1899 und The American Naturalist. 1900. Bitter, Hedwigia XL u. Jahrb. f. wiss. Bot. XXXVI. (57) Krabbe, Cladonia. 1891. (58) Stahl, Beitr. z. Entw. d. Flechten. 1877. Baur, Ber. d. Bot. Ges. 1898 u. Flora, 1901. Darbishire, Jahrb. f. wiss. Bot. XXXIV. Lindau, Flora. 1888 u. Schwendenerfestschrift. 1899. Möller, Kultur flechtenbild. Ascomyceten. 1887 u. Bot. Ztg. 1888. (59) Johow, Jahrb. f. wiss. Bot. 1884. Möller, Flora. 1893. Poulsen, Vid. Medd. Kopenhagen. 1899. (60) Goebel, Die Muscineen, Schenk's Handb. d. Bot. II. 1882 u. Organographie II. 1898, ferner Flora. 1902. (61) Campbell, Mosses and Ferns. 1895 u. 1901. (62) Schiffner in Nat. Pfl.-Fam. I 3. Leitgeb, Unters. über Lebermoose. 1874—1882. Goebel, Flora. 1895. Kamerling, Flora. Egzbd. 1897. Andreas, Flora. 1899. (63) K. Müller, Ruhland, Warnstorf, Brotherus in Nat. Pfl.-Fam. I 3, Lorentz, Jahrb. f. wiss. Bot. VI. Haberlandt, ibid. XVII. Tansley and Chick, Annals of Bot. XV. Correns, Vermehrung der Laubmoose. 1899. Vaupel, Flora. 1903. (64) Ph. W. Schimper, Torfmoose. 1858. Nawaschin, Flora. 1897. (65) Lantzius-Beninga, Der innere Bau der Mooskapsel. 1850. Dihm, Flora. Egzbd. 1894. Göbel, Flora. Egzbd. 1895. Steinbrinck, Flora. Ergzbd. 1897. (66) Sadebeck in Nat. Pfl.-Fam. I 4. Goebel, Organographie II 2. 1900. (67) Sadebeck, Diels, Bitter in Nat. Pfl.-Fam. I 4. Hooker, Synopsis Filicum 1883. Baker, Fern allies. 1887. Christ, Farnkräuter der Erde. 1897. Bower, Transact. Royal Soc. 1899 u. Proceed. Royal Soc. 1903. (68) Strasburger, Jahrb. f. wiss. Bot. VII. (69) de Bary, Bot. Ztg. 1878. Bower, Transact. Linn. Soc. 1887. Lang and Clark, Bot. Centralbl. 1898. Farmer, Moore and Digby, Proceed. of the Royal Soc. LXXI. 1903. (70) Pringsheim, Jahrb. f. wiss. Bot. III. Belajeff, Bot. Ztg. 1898. (71) Strasburger, Azolla. 1873. (72) Sadebeck in Nat. Pfl.-Fam. I 4. Jeffrey, Mem. of Boston Soc. of nat. hist. V. Ursprung, Jahrb. f. wiss. Bot. XXXVIII. Steinbrinck,

Ber. d. Bot. Ges. 1903. (73) PRITZEL in Nat. Pfl.-Fam. I 4. GÖBEL, Bot. Ztg. 1887. TREUB, Ann. Jard. Buitenzorg. 1884—1890. BRUCHMANN, Über die Prothallien u. Keimpfl. der Lycop. 1898. LANG, Annals of Bot. XIII. (74) HIERONYMUS in Nat. Pfl.-Fam. I 4. PFEFFER in HANSTEINS Bot. Abh. 1871. BELAJEFF, Bot. Ztg. 1885. BRUCHMANN, Unt. über Selaginella spinulosa. 1897. FITTING, Bot. Ztg. 1900. GOEBEL, Flora. 1901. LYON, Bot. Gaz. XXXII. CAMPBELL, Annals of Bot. XVI. DENKE, Beiheft z. Bot. Centralbl. XII. STEINBRINCK, Ber. d. Bot. Ges. 1902. (75) FARMER, Annals of Bot. V. SCOTT and HILL, ibid. XIV. SMITH, Bot. Gaz. 1900. FITTING, Bot. Ztg. 1900. SADEBECK in Nat. Pfl.-Fam. I 4. SOLMS-LAUBACH, Bot. Ztg. 1902. W. PH. SCHIMPER, Traité de Paléontologie végétale. Paris 1866—1874. W. PH. SCHIMPER u. A. SCHENK, Paläophytologie in ZITTEL's Handb. d. Pal. 1890. A. SCHENK, Die fossilen Pflanzenreste. 1888. B. RENAULT, Cours de Bot. fossile. 1881—1885. G. SAPORTA et MARION, Évolution du règne végétale. 1881 u. 1885. SOLMS-LAUBACH, Einleitung in die Paläophytologie 1887. POTONIÉ, Lehrb. d. Pflanzenpaläontologie. 1899. D. H. SCOTT, Studies in Fossil Botany. 1900. R. ZEILLER, Éléments de Paléobotanique. 1900. POTONIÉ, Fossile Pteridophyten in Nat. Pfl.-Fam. I 4.

Phanerogamen.

(1) W. HOFMEISTER, Vergleich. Untersuch. der Keim., Entfalt. u. Fruchtbild. höherer Kryptogamen und der Samenbild. der Koniferen, Leipzig 1851. (2) STRASBURGER, Angiospermen und Gymnospermen, Jena 1879. OVERTON, Reduktion der Chromosomen, Vierteljahrschr. d. naturf. Ges. Zürich 1893. JUEL, Tetradenteilg., Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 35. 1900. M. KOERNICKE, Studien an Embryosack-Mutterzellen, Niederrhein. Ges. 1901. COULTER and CHAMBERLAIN, Morphology of Spermatophytes I., New York 1901. GOEBEL, Organographie, Jena 1898—1901. WARMING, Pollenbildende Phyllome u. Caulome, Hanst. bot. Abh. II. 1873. STRASBURGER, Bau und Wachstum d. Zellhäute 1882. Ders., Wachstum vegetab. Zellhäute 1889. Ders., Befruchtungsvorgang d. Phanerogamen, Jena 1884. WILLE, Pollenkörner der Angiospermen 1886. BELAJEFF, Pollenschlauch der Gymnospermen, Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1891 und 1893. STRASBURGER, Verhalten d. Pollens u. Befruchtungsvorgänge bei den Gymnospermen, Jena 1892. G. KLEBS, Beitr. z. Physiol. der Keimung, Unters. Tübingen I. 1884. (3) ENGLER, Prinzipien d. systemat. Anordnung aus Syllabus, III. Aufl., Berlin 1903. ENGLER und PRANTL, Natürl. Pflanzenfamilien II. III. IV. ab 1889. BAILLON, Histoire des plantes I.—X. 1867—1888. BERG und SCHMIDT, Atlas d. officin. Pflanzen 1863 und dasselbe, 2. Aufl. von A. MEYER und SCHUMANN 1891—1902. TSCHIRCH, Indische Heil- u. Nutzpflanzen Berlin 1892. (4) W. HOFMEISTER, Vgl. Untersuchungen 1851. STRASBURGER, Befruchtung bei den Koniferen, Jena 1869. Ders., Koniferen und Gnetaceen, Jena 1872. COULTER and CHAMBERLAIN, Morph. of Spermatophytes I. 1901, N. Y. GOEBEL, Organographie II., Jena 1901. EICHLER, Gymnospermen im ENGLER-PRANTL 1889. K. MIYAKE, Develop. and fertiliz. in Picea excelsa, Ann. of bot. XVII. 1903. W. C. COKER, On the gametophytes and embryo of Taxodium I u. II. Bot. Gaz. Jul. Aug. 1903. (5) L. CL. RICHARD, Commentatio de Coniferis et Cycadeïs, Stuttgart 1826. E. WARMING, Cycadeerne, K. D. Vidensk. Selsk. Forh. 1877 u. 1879. M. TREUB, Cycadées, Ann. de Buitenzorg 2 u. 4, 1885. W. H. LANG, Stangeria, Ann. of botany XI. 1897 und XIV. 1900. H. J. WEBBER, Spermatogenesis and fecundation of Zamia, Washington 1901. U. S. Dep. of agricult. S. IKENO, Geschlechtsorgane u. Befruchtung bei Cycas revoluta, Jahrb. f. wiss. Bot. 32, 1898. H. Graf SOLMS-LAUBACH, Sproßfolge der Stangeria u. d. übrigen Cycadeen, Bot. Ztg. 1890. G. KRAUS, Ann. de Buitenzorg XIII, Blütenwärme bei Cycadeen usw. 1896. COULTER and CHAMBERLAIN, Embryogeny of Zamia, Bot. Gaz. March. 1903. (6) Literatur (4) und SAKUGORŌ HIRASÉ, Pollen von Ginkgo biloba, Bot. Centralbl., Bd. 69, Nr. 2, 1897. Ders., Fécondation et l'embryogénie du Ginkgo biloba. Journ. of the college of science, Univ. imp. Tokyo VIII. 1895 und XII. 1898. K. GOEBEL, Pollenentleerung bei einigen Gymnospermen, Flora 1902, Ergbd. (7) Literatur (4) ferner: STRASBURGER, Angiospermen und Gymnospermen, Jena 1879. GOROSCHANKIN, Corpuscula bei den Gymnospermen, Bot. Ztg. 1883. J. SACHS, Lehrb. d. Botanik IV. 1874. L. CELAKOWSKY, Gymnospermen, Abh. kg. böhm. Ges. d. W. 1890. Ders., Nachtrag dazu, ENGLER's Jahrb. 1898. BELAJEFF, Pollenschlauch der Gymnospermen, 1. u. 2., Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1891 u. 1893. STRASBURGER, Verhalten des Pollens u. Befruchtungsvorgänge bei den Gymnospermen 1892. DIXON, Pinus silvestris, Ann. of bot. 1894. NOLL, Abietineen-Zapfen, Sitzungsber. der Niederrh. Ges. 1894. JÄGER, Endospermbildung und Embryologie von Taxus baccata, Flora 1899. ARNOLDI, Beitr. z. Morphologie einiger Gymnospermen, 1—5. 1900/01. J. WIESNER, Rohstoffe des Pflanzenreichs, II. Aufl. 1900. GOEBEL, Pollenentleerung bei einigen Gymnospermen, Flora, Ergbd. 1902. K. FUJII,

Bestäubungstropfen der Gymnospermen, Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1903. F. W. OLIVER, Ovules of the older Gymnosperms, Ann. of bot. XVII. 1903. K. MIYAKE, Fertilization and embryogeny of Abies balsamea, Beihefte z. bot. Centralbl. 1903. (8) J. D. HOOKER, Welwitschia usw., Transact. Linn. soc., London 24. 1863. STRASBURGER, Koniferen und Gnetaceen 1872. Ders., Angiospermen und Gymnospermen 1879. F. O. BOWER, Germination of Welwitschia, Quart. Journ. micr. cs. 21. 1881. Ders., Germination of Gnetum Gnemon, ibidem 22. 1882. G. KARSTEN, Entwicklungsgeschichte der Gattung Gnetum, Bot. Ztg. 1892. Ders., Ann. de Buitenzorg 11. 1893. Ders., COHN's Beitr. z. Biol. 6. 1893. JACCARD, Ephedra helvetica, Diss. Zürich 1893. LOTSY, Life hist. of the genus Gnetum, Ann. de Buitenzorg 16. 1899. COULTER and CHAMBERLAIN, Morphologie of spermatophytes I. 1901. (9) W. PH. SCHIMPER, Traité de Paléontologie végétale, Paris 1866—1874. W. PH. SCHIMPER und A. SCHENK, Palaeophytologie in ZITTEL's Handbuch der Pal. 1890. A. SCHENK, Die fossilen Pflanzenreste 1888. B. RENAULT, Cours de bot. fossile 1881—1885. G. SAPORTA et MARION, Evolution du règne végétal 1881 und 1885. H. GRAF ZU SOLMS-LAUBACH, Einleitung in die Paläophytologie 1887. POTONIÉ, Lehrbuch der Pflanzenpalaeontologie 1899; D. H. SCOTT, Studies in fossil botany 1900; R. ZEILLER, Eléments de Paléobotanique 1900. (10) Unter (3) genannte Literatur, ferner: PAYER, Traité d'organogénie de la fleur. 1857. GOEBEL, Organographie II. 1901. Ders., Vgl. Entwicklungsgeschichte in SCHENK, Handbuch d. Bot. III. 1., Breslau 1884. F. NOLL, Normale Stellung zygomorpher Blüten usw. 1885, 1887, Arbeit. bot. Inst. Würzburg III. H. VOECHTING, Zygomorphie und deren Ursachen, Pringsh. Jahrb. XVII. 1886. Ders., Einfluß des Lichtes auf Gestaltung u. Anlage der Blüten, ebendort XXV. 1893. GOEBEL, Gefüllte Blüten, Pringsh. Jahrb. XVII. 1886. K. SCHUMANN, Blütenmorphologische Studien, Pringsh. Jahrb. XX. 1889. EICHLER, Blütendiagramme I. u. II., Leipzig 1875, 1878. WARMING, Ramification des Phanérog., Vidensk. Selsk. Skr. sér. V. X. 1872. GOEBEL, Systematik 1882. J. SCHNIEWIND-THIES, Septalnektarien 1897. H. MÜLLER, Befruchtung der Blumen durch Insekten 1873. P. KNUTH, Blütenbiologie 1. u. 2. 1899. (11) VESQUE, Développement du sac embryonnaire des Phanérogames angiosp., Ann. sc. nat. 6 sér. VI. 1878. STRASBURGER, Angiospermen und Gymnospermen 1879. Ders., Befruchtung und Zellteilung 1878. Ders., Befruchtungsvorgang bei den Phanerogamen 1884. Ders., Bemerk. z. Frage nach d. „doppelten Befruchtung" bei den Angiospermen, Bot. Ztg. II. Abt. 1900. Ders., Über Befruchtung, Bot. Ztg. II. Abt. 1901. L. GUIGNARD, Rech. sur le sac embryonnaire, Rev. sc. nat. Montpellier, T. I. 1882. Ders., Ann. sc. nat. Bot. 6 sér. XII. u. XIII. 1882 und 7 sér. XIV. 1891. Ders., La fécond. chez les végétaux angiosp. Vol. jubil. soc. d. Biologie. 1899. Ders., Anthérozoides et double fécond., Comptes rend. 1899, Paris 1899. Ders., L'appareil sexuel et la double fécond. dans les Tulipes, Ann. sc. nat. 8 sér. XI. 1900. Ders., Double fécond. dans le Maïs; Double fécond. dans le Najas major; Double fécond. chez les Renonculacées, Journ. de Botan. XV. 1901. TREUB, Loranthacées, Ann. d. Buitenzorg, II. u. III. 1883 u. 1885. Ders., Sur les casuarines et leur place dans le syst. nat. Ann. d. Buitenzorg X. 1891. Ders., Balanophora elongata, Ann. d. Buitenzorg XV. 1898. S. NAWASCHIN, Über die gemeine Birke, Mém. acad. imp. St. Pétersbourg, VII. sér. 42. Nr. 12. 1894. Ders., Corylus Avellana, Bull. 1899. Ders., Verhalten des Pollenschlauches bei der Ulme, Bull. acad. imp. St. Petersbourg 1898. Ders., Result. einer Revision d. Befruchtungsvorgänge bei Lilium Martagon und Fritillaria tenella, Bull. acad. imp. St. Petersbourg 1898. Ders., Befruchtungsvorgänge bei einigen Dikotyledonen, Ber. der deutsch. botan. Ges. 1900. ZINGER, Weibl. Blüte u. Inflorescenzen bei Cannabineen, Flora 1898. WESTERMAIER, Antipodenzellen, Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1898. OSTERWALDER, Aconitum Napellus, Flora 1898. A. DODEL, Iris sibirica, Festschrift NÄGELI-KÖLLIKER 1891. OVERTON, Entwicklung u. Vereinigung d. Geschlechtsprodukte bei Lilium Martagon. ibidem. 1891. BENSON, Amentiferae, Linn. soc. London 1894. MURBECK, Alchemilla, Lunds. Univ. Aarskrift, Bd. 36. 1901. JUEL, Antennaria, K. Svensk. Ak. Handl. 33. V. 1900. LOTSY, Rhopalocnemis phalloides, Ann. d. Buitenzorg, 2 sér. II. 1900. BALICKA-IWANOWSKA, Contrib. à l'étude du sac embryon usw., Flora 1899. BILLINGS, Beiträge zur Kenntnis d. Samenentwicklung, Flora 1901. G. KARSTEN, Entwicklung d. weibl. Blüten bei einigen Juglandaceen, Flora 1902. F. E. LLOYD, Comparat. Embryology of the Rubiaceae, Mem. of the Torrey botan. club VIII. 1. 1899 u. 2. 1902. DOUGLAS H. CAMPBELL, Peperomia pellucida, Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1899. DUNCAN S. JOHNSON, Peperomia pellucida, Bot. Gaz. XXX. 1900. J. HANSTEIN, Entwicklung des Keimes, Bot. Abhandlung I. 1. 1870, Bonn. TH. C. FRYE, Embryosac of Casuarina stricta, Bot. Gaz. Aug. 1903. COULTER and CHAMBERLAIN, Morphology of Angiosperms. N. Y. 1903 (konnte leider nicht mehr benutzt werden). (12) J. GÄRTNER, De fructibus et seminibus plantarum, I. u. II. Stuttgart 1789—91. A. P. DE CANDOLLE, Pflanzenphysiologie, übers. von J. ROEPER, II. 212. F. HILDEBRANDT, Verbreitungsmittel der Pflanzen, Leipzig 1873. (13) Literatur unter (3), außerdem: EICHLER, Blütendiagramme I. 1875. TH. IRMISCH, Knollen- u. Zwiebel-

gewächse, Berlin 1850. H. Hallier, Polyphylet. Ursprung der Sympetalen u. Apetalen 1901, Abh. a. d. Geb. der Naturw., Naturw. Verein Hamburg XVI. E. Sargant, Theory of the origin of Monokotyledons etc., Ann. of bot. XVII., Jan. 1903. Goebel, Organographie 1901. Ders., Streptochaeta, Flora 1895, Ergbd. F. Körnicke, Arten und Varietäten des Getreides, Handb. d. Getreidebaues v. Körnicke u. Werner I. Bonn 1885. E. Bruns, Grasembryo, Flora 1892. Ergänzbd. Schlickum, Biblioth. botan. 35. 1896. A. Nestler, Über einen in der Frucht von Lolium temulentum vorkommenden Pilz. Ber. d. D. bot. Ges. 1898. P. Guèrin, Probables causes of the poiss. effects of Lolium temulentum, Bot. Gaz. 28. A. R. Wallace, Tropenwelt, übers. 1879. Dickenwachstum der Palmen nach mündl. Mitteilungen von H. Schenck, vgl. S. 418—419. Alph. de Candolle, Ursprung d. Kulturpflanzen, übers. von E. Goeze, Leipzig 1884. J. Reinke, Assimilationsorgane der Asparageen, Pringsh. Jahrb. 31. 1897. Th. Irmisch, Beitr. z. vergl. Morphologie, 1—6, Halle 1853 bis 1879. Ch. Darwin, Befruchtung der Orchideen durch Insekten, übers. v. Carus, II. Aufl. 1899. (14) Literatur unter (3), ferner: J. Lubbock, Contrib. to the knowl. of seedlings, Vol. I. u. II. 1892. Goebel, Organographie 1898—1901. H. Hallier, Vorläufiger Entwurf des natürlichen (phylogenetischen) Systems der Blütenpflanzen, Bull. d. l'herbier Boissier, 2. sér. III. 1903. Ders., Umfang, Gliederung und Verwandtschaft der Familie der Hamamelidaceen 1903. Ders., Verwandtschaftsverhältnisse bei Engler's Rosalen, Parietalen, Myrtifloren usw., Abhandl. d. Naturw. Vereins Hamburg 1903. E. Sargant, Origin of monocotyledons, Ann. of bot. XVII. 1903. (15) Payer, Traité d'organogénie de la fleur 1857. Eichler, Blütendiagramme I. u. II. 1878. Engler-Prantl, Natürl. Pflanzenfamilien III. u. IV. Engler, Das Pflanzenreich, ab 1900. Baillon, Histoire des plantes, I.—X. 1867—1888. Berg und Schmidt, Atlas d. officinellen Pflanzen, II. Aufl. von Meyer u. Schumann. Nr. (15) für alle Familien, so daß im weiteren diese Werke und die darin aufgeführte ältere Literatur im allgemeinen nicht mehr besonders genannt werden. (16) H. Graf zu Solms-Laubach, Herkunft, Domestikation u. Verbreitung d. gew. Feigenbaumes, Abh. d. Kg. Ges. d. W. Göttingen 1882. Ders., Geschlechtsdifferenz bei den Feigenbäumen, Bot. Ztg. 1885. Fritz Müller, Caprificus u. Feigenbaum, Kosmos VI. 1882. G. King, Observations on the genus Ficus etc., Linn. soc. XXIV. Ders., Species of Ficus, Ann. Royal bot. garden Calcutta 1887. A. de Candolle, Ursprung d. Kulturpflanzen, übers. v. Goeze 1884. M. Golenkin, Inflorescenzen der Urticaceen und Moraceen, Flora 1894. O. Warburg, Kautschukpflanzen, Berlin 1900. M. Treub, Ficus hirta, Ann. de Buitenzorg XVIII. 1902. A. F. W. Schimper, Pflanzen und Ameisen. Bot. Mitteil. a. d. Tropen I. 1888., (17) K. Goebel, Verzweigung dorsiventraler Sprosse, Arb. d. Bot. Inst. zu Würzburg II. 3. 1880. Ders., Vgl. Entwicklungsgesch. 1884. (18) H. de Vries, Mutationstheorie I. u. II. 1901—1903. (19) M. Raciborski, Cabombeen u. Nymphaeaceen, Flora 1894. H. L. Lyon, Nelumbo, Minnesota bot. stud. II. 1901. E. Strasburger, Ceratophyllum submersum, Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. XXXVII. 1902. (20) E. Janczewski, Anemone, Rev. gén de Bot. 1892. (21) O. Warburg, Muskatnuß, Leipzig 1897. J. M. Janse, Déhiscence du fruit du muscadier, Ann. de Buitenzorg 16. 1899. (22) V. Hehn, Kulturpflanzen u. Haustiere, Aufl. VII. 1902. (23) H. Graf zu Solms-Laubach, Cruciferenstudien I.—III., Bot. Ztg. 1900, 1902, 1903. (24) J. M. Macfarlane, Observations on pitchered insectivorous plants, Ann. of bot. III. u. VII. 1889, 1893. K. Goebel, Pflanzenbiologische Schilderungen, II. 1891—1893. (24a) Goebel, ibidem. Wasserpflanzen. 1889. (25) K. Goebel, ibidem I. Succulenten. 1889. (26) E. de Janczewski, Ribes 1901, Bull. acad. Cracovie. (27) K. Goebel, Morphol. u. Physiol. d. Blattes III., Bot. Ztg. 1882. A. de Candolle, Ursprung der Kulturpflanzen, übers. von Goeze 1884. (28) K. Goebel, Organographie II. Th. Belt, Naturalist in Nicaragua 1888. H. de Vries, Mutationstheorie I. II. 1901—1903. G. Tischler, Cytisus Adami, Ber. der deutsch. bot. Ges. 1903. J. Reinke, Assimilationsorgane der Leguminosen, Pringsh. Jahrb. 30. 1896 bis 1897. (29) A. de Candolle, Ursprung der Kulturpflanzen 1884. V. Hehn, Kulturpflanzen und Haustiere, VII. Aufl. 1902. (30) E. Warming, Pollenbild. Phyllome und Caulome in Hanstein, bot. Abh. II. 2. 1873. R. Brown, Vermischte Schriften I. 56. O. Warburg, Kautschukpflanzen 1900. (31) Goebel, Organographie II. (32) O. Preuss, Expedition nach Central- und Südamerika 1901. (33) J. Wiesner, Rohstoffe der Pflanzenreichs, II. Aufl. 1900. (34) Engelmann, Botanical works coll. for H. Shaw, edit. by W. Trelease and Asa Gray, Cambridge 1887. Goebel, Pflanzenbiol. Schilderungen I. Succulenten 1889. G. Heyl, Vorkommen von Alkaloiden und Saponinen in Cacteen, Archiv d. Pharmacie 1901, dort weitere Literatur. (35) H. de Vries, Mutationstheorie I. u. II. 1901—1903. (36) A. F. W. Schimper, Indo-malayische Strandflora 1891. G. Karsten, Mangroveveget. im Malayischen Archipel, Bibl. bot. 22. 1891. G. Haberlandt, Ernährung der Keimlinge bei viviparen Mangrovepflanzen, Ann. de Buitenzorg XII. 1893. (37) H. Graf zu Solms-Laubach, Bau und Entwicklung parasitischer Phanerogamen, Pringsh. Jahrb. VI. 1868. J. Scott, Loranthaceae, Journ. of agricult. and horticult. soc. of India 1871, und Auszug resp. Übers. (Unters. über einige indische Loranthus-

arten und über den Parasitismus von Santalum album) von H. Graf zu Solms-Laubach, Bot. Ztg. 1874 Nr. 9. (38) Literatur unter (37), ferner: M. Treub, Loranthacées. Ann. de Buitenzorg II. u. III. 1883 u. 1885. L. Jost, Blütenentwicklung der Mistel, Bot. Ztg. 1888. T, Johnson, Arceuthobium Oxycedri, Ann. of botany II. F. Johow, Zur Bestäubungsbiologie chilen. Blüten, Verh. d. D. wiss. Ver. Santiago IV. 1900. L. Klein, Forstbotanik, Lorey's Handb. d. Forstwissenschaft, II. Aufl. 1903. (39) H. Graf zu Solms-Laubach, Über den Bau der Samen in den Familien der Rafflesiaceen und Hydnoraceen, Bot. Ztg. 1874. Ders., Brugmansia Zippelii u. Aristolochia Clematitis, Bot. Ztg. 1876. Ders., Pilostyles Hausknechtii, Bot. Ztg. 1874. Ders., Species der Gattung Rafflesia, Ann. de Buitenzorg IX. 1889. Ders., Entwicklung des Ovulum und des Samens bei Rafflesia und Brugmansia, Ann. de Buitenzorg, suppl. II. 1897. (40) M. Treub, Balanophora elongata, Ann. de Buitenzorg XV. 1898. P. Lotsy, Balanophora globosa, Ann. de Buitenzorg XVI. 1899. Ders., Rhopalocnemis phalloides, Ann. de Buitenzorg XVII. 1900. (41) A. Artopoeus, Bau und Öffnungsweise der Antheren und Entwicklung der Samen bei Ericaceen, Flora 1903, P. Gräbner, Heide Norddeutschlands, Vegetation der Erde V. 1901. (42) F. Hildebrandt, Monogr. Cyclamen 1898. K. Goebel, Über Regeneration im Pflanzenreich 1902, Biolog. Centralbl. H. Winkler, Regeneration der Blattspreite bei einigen Cyclamenarten, Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1902. (43) A. de Candolle, Ursprung der Kulturpflanzen, übers. v. Goeze 1884. V. Hehn, Kulturpflanzen und Haustiere, VII. Aufl. 1902. P. Knuth, Handbuch der Blütenbiologie II. 1899. (44) R. v. Wettstein, Saison-Dimorphismus, Ber. d. deutsch. bot. Ges. XIII. 303. Ders., Descendenztheoret. Unters. I., Denkschrift d. k. Akad. d. W. Wien 1900. (45) O. Warburg, Kautschukpflanzen, Berlin 1900. P. Preuss, Expedition nach Central- und Südamerika, Berlin 1901. Kolonial-Wirtschaftl. Komitee, Kunene-Zambesi-Expedition, herausgeg. v. O. Warburg. (46) M. Treub, Dischidia Rafflesiana, Ann. de Buitenzorg III. 1883. (47) G. J. Peirce, Haustoria of some phanerog. parasites, Ann. of botany 1893. Ders., Cuscuta, Ann. of botany 1894. (48) F. Muth, Symphytum officinale, Flora Ergbd. 1902. K. Goebel, Entwickl. d. Boragoids, Flora Ergbd. 1902. (49) Koorders, Keimentwickl. v. Tectona grandis, Natuurk. Tydskr. v. Ned. Ind. 1893. (50) M. Treub, Avicennia officinalis, Ann. de Buitenzorg III. 1883. (51) A. F. W. Schimper, Pflanzen und Ameisen, Bot. Mitt. a. d. Tropen I. 1888. (52) H. Müller, Befruchtung d. Blumen durch Insekten 1873. (53) E. Heinricher, Lathraea, Ber. d. k. Akad. d. W. Wien 1892 und Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1893. Ders., Die grünen Halbschmarotzer I.—IV. Pringsh. Jahrb. 1897, 1898, 1901, 1902. R. v. Wettstein, Arten d. Gatt. Euphrasia, Öst. bot. Ztschr. 1894, 1895. Ders., Monogr. Euphrasia 1896. Sterneck, Monogr. Alectorolophus 1901. J. Hoffmann, Odontites 1897, Öst. bot. Ztschr. K. Goebel, Tozzia u. Lathraea, Flora 1897. G. Haberlandt, Zur Kenntnis der Hydathoden, Pringsh. Jahrb. 1897. (54) K. Goebel, Organographie II. Hielscher, Streptocarpus, Cohn's Beiträge III. 1878. (55) K. Goebel, Morphol. u. biolog. Studien III., Ann. de Buitenzorg IX. Ders., Pflanzenbiol. Schilderungen II.: Lentibularieae 1891, dort weitere Literaturangaben. (56) H. Müller, Blumen und Insekten. P. Knuth, Blütenbiologie. (57) M. Treub, Sur une nouvelle catégorie des plantes grimpantes, Ann. de Buitenzorg III. 1883. (58) M. Treub, Myrmecodia echinata, Ann. de Buitenzorg III. 1883 u. VII. 1888. K. Schumann, Einige neue Ameisenpflanzen, Pringsh. Jahrb. XIX. 1888. (59) K. Goebel, Organographie II. 1901. (60) Abhängigkeit der Blattform von Campanula rotundifolia von der Lichtintensität usw., Flora 1896. Herm. Müller, Blumen u. Insekten. P. Knuth, Blütenbiologie. (61) F. Noll, Zur Keimungs-Physiologie der Cucurbitaceen, Landw. Jahrb. XXX. Ergbd. P. 1901. Ders., Über Fruchtbildung ohne vorausgeg. Bestäubung (Parthenocarpie) bei der Gurke. Sitzber. d. Niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilk., Bonn 1902. K. Goebel, Organographie II. 1901. O. Müller, Ranken der Cucurbitaceen, Cohn's Beiträge Bd. IV. 1887. (62) E. Stahl, Kompaßpflanzen 1883. (63) C. v. Nägeli, Innovation bei den Hieracien und ihre systematische Bedeutung, Bot. Mitt. III. 1866. Ders., Die Piloselloiden als Gattungssektion, ibid. 1867. Ders., Die Piloselliformia, ibid. 1867. Ders., Abstammungslehre 1884. A. Peter, Spontane und künstliche Gartenbastarde der Gattung Hieracium sect. Piloselloidea, Englers Jahrb. V. (64) W. Heering, Assimilationsorgane der Gattung Baccharis (Diss. Kiel) 1899. (65) A. F. W. Schimper, Pflanzengeographie 1898. (66) K. Goebel, Pflanzenbiolog. Schilderungen II. 1891. (67) W. Ph. Schimper, Traité de Paléontologie végétale, Paris 1866—1874. W. Ph. Schimper und A. Schenk, Palaeophytologie, Zittels Handb. d. Pal. 1890. A. Schenk, Fossile Pflanzenreste 1888. B. Renault, Cours de bot. fossile 1881—1885. G. Saporta et Marion, Évolution du règne végétal 1881 u. 1885. H. Graf zu Solms-Laubach, Einleitung in die Palaeophytologie 1887. Potonié, Lehrb. der Pflanzenpalaeontologie 1899. D. H. Scott, Studies in fossil botany 1900. R. Zeiller, éléments de Paléobotanique 1900.

Systematisches Verzeichnis

der

officinellen und wichtigsten giftigen Gewächse.

○ bedeutet officinell in Deutschland, Österreich oder Schweiz;
+ bedeutet giftig;
⊕ bedeutet officinell und giftig;
* vor den Seitenzahlen bedeutet Abbildung.

Thallophyta.

○ Laminaria digitata, Cloustoni *290. 294.
○ Chondrus crispus, Carrageen *295. 298.
○ Gigartina mammillosa, Carrageen *295. 298.
⊕ Claviceps purpurea, Secale cornutum, Mutterkorn *81. *313.
○ Polyporus fomentarius, Feuerschwamm 324. 325.
○ Polyporus officinalis, Lärchenschwamm 325.
+ Boletus Satanas, Satanspilz *324.
+ Amanita muscaria, Fliegenschwamm *325.
+ Amanita bulbosa, Knollenblätterschwamm *325.
+ Lactarius torminosus, Giftreizker 325.
+ Russula emetica, Speiteufel 325.
+ Scleroderma vulgare, Hartbovist *326.
○ Cetraria islandica, Isländisches Moos *328. *329. 332.

Pteridophyta.

○ Aspidium filix mas, Wurmfarn *346. *350. 354.
○ Adiantum Capillus Veneris, Frauenhaar 354.
○ Cibotium Barometz, Penawar Djambi 354.
+ Equisetum, Schachtelhalm *359. 361.
○ Lycopodium clavatum, Bärlapp *361. 363.

Gymnospermae.

+ Taxus baccata, Eibe *384. 385. *386.
○ Juniperus communis, Wacholder *386. *387. 391.
⊕ — Sabina, Sadebaum *387. 391.
○ — Oxycedrus 391.
○ Picea excelsa, Fichte *389. 391.
○ Abies alba, Weißtanne *388. 391.
○ Larix europaea, Lärche 391.
○ Larix sibirica 391.
○ Pinus silvestris, Kiefer *390. 391.
○ — montana, Krummholzkiefer 391.
○ — Laricio, Schwarzkiefer 391.
○ — Pinaster, Seestrandskiefer 391.
○ — Taeda, Weihrauchkiefer 391.

Glumiflorae.

+ Lolium temulentum, Taumellolch *417. 418.
+ — remotum 418.
○ Saccharum officinarum, Zuckerrohr 418.
○ Hordeum vulgare, Gerste *416. 418.
○ Agropyrum repens, Quecke 418.
○ Triticum vulgare, Weizen *416. 418.
○ Oryza sativa, Reis *417. 418.

Spadiciflorae.

○ Areca Catechu 421.
+ Arum maculatum, Aaronstab 422. *423.
+ Calla palustris 422.
○ Acorus Calamus, Kalmus *422.

Liliiflorae.

⊕ Veratrum album, Germer 426. 429.
⊕ Schoenocaulon officinale 429.
⊕ Colchicum autumnale, Herbstzeitlose 424. *425. *426. 429.
○ Aloë-Arten *427. 429.
○ Urginea maritima, Meerzwiebel *427. 429.
○ Smilax-Arten 428. 429.
+ Paris quadrifolia, Einbeere 428. *429.
⊕ Convallaria majalis, Maiglöckchen *25. 428.
○ Crocus sativus, Safran *430.
○ Iris florentina, Schwertlilie 430.
○ — germanica *430.
○ — pallida 430.

Scitamineae.

○ Zingiber officinale, Ingwer 432. *433.
○ Elettaria Cardamomum, Cardamome 433.
○ Curcuma Zedoaria, Zittwer 433.
○ Alpinia officinarum, Galgant 433.
○ Maranta arundinacea, Arrowroot 433.

Gynandrae.

○ Orchis-Arten, Knabenkraut *434. *435. 436.
○ Vanilla planifolia, Vanille *434. 436.

Piperinae.

○ Piper Cubeba, Cubebenpfeffer 437. *438.

Amentiflorae.

○ Juglans regia, Walnuß *439.
○ Salix alba etc., Weide *440. 441.
○ Betula verrucosa, Birke *442.
○ Quercus pedunculata, Stieleiche *445.
○ — sessiliflora, Traubeneiche 445.
○ — infectoria 445.
○ Fagus silvatica, Buche *444.

Urticinae.

○ Morus nigra, Maulbeere 446.
○ Ficus elastica 447
○ Castilloa elastica 447.
○ Cannabis sativa, Hanf 447.
○ — sativa var. indica 448.
○ Humulus Lupulus, Hopfen 447. *448.

Centrospermae.

○ Rheum-Arten, Rhabarber 449. *450.
○ Beta vulgaris, Zuckerrübe 449. *451.
○ Chenopodium ambrosioides 449.
+ Agrostemma Githago, Kornrade *451. 452.
+ Saponaria officinalis, Seifenkraut *452.
○ Herniaria glabra 452.
○ — hirsuta 452.

Polycarpicae.

+ Ranunculus sceleratus, Hahnenfuß *454. *455.
+ — arvensis und andere Arten *454.
+ Caltha palustris, Butterblume 456. *457.
+ Anemone pulsatilla, Küchenschelle 454. *456.
+ — nemorosa, Windröschen 454.
+ Clematis-Arten 454. 455.
+ Delphinium-Arten, Rittersporn 457.
+ Adonis vernalis 454.
+ Helleborus-Arten, Nieswurz 456. *457.
⊕ Aconitum Napellus, blauer Eisenhut 457. *458.
+ — Lycoctonum und andere Arten 457. *459.
○ Hydrastis canadensis 457. *459.
○ Illicium anisatum, Sternanis 460.
+ — religiosum 460.
○ Myristica fragrans, Muskatnuß *459. 460.
⊕ Podophyllum peltatum *460.
○ Jatrorrhiza palmata *461.
○ Cinnamomum Camphora, Kampher 462. *464.
○ — Cassia, Zimt 462.
○ — zeylanicum, Ceylonzimt 462.
○ Laurus nobilis, Lorbeer 461. 462. *463.
○ Sassafras officinale *462.

Rhoeadinae.

⊕ Papaver somniferum, Mohn 465.
○ — Rhoeas *465.
○ Cochlearia officinalis, Löffelkraut *467. 468.
○ Brassica nigra, schwarzer Senf *467. 468.
○ Sinapis alba, weißer Senf 468.

Saxifraginae.

○ Ribes rubrum, Johannisbeere *470.
○ Liquidambar orientalis, Styraxbaum 470.

Rosiflorae.

○ Pirus malus, Apfel *472. 474.
○ Cydonia vulgaris, Quitte 472. 474.
⊕ Quillaja Saponaria *472. 475.
○ Potentilla Tormentilla 475.
○ Spiraea Ulmaria 475.
○ Rubus idaeus, Himbeere *474.
○ — fruticosus 475.
○ Hagenia abyssinica *473. 474.
○ Rosa centifolia 471. 474.
⊕ Prunus Laurocerasus, Kirschlorbeer 475.
○ — Cerasus, Kirsche *475.
○ — Amygdalus, Mandel 475.
○ — domestica, Pflaume 475.

Leguminosae.

○ Acacia Catechu *477.
○ — Suma 477.
○ — Senegal *476.
○ Cassia angustifolia, Sennesstrauch *478. 479.
○ — acutifolia 479.
○ — obovata 479.
○ — Fistula 479.
○ Copaïfera Langsdorffii *480 und andere Arten 479.
○ Krameria triandra 479. *480.
○ Tamarindus indica, Tamarinde *479.
○ Haematoxylon campechianum, Blauholz 479.
○ Myroxylon Pereirae, Perubalsambaum 480. *482. 483.
○ — toluifera 483.
+ Cytisus Laburnum, Goldregen *483 und andere Arten 481.
○ Astragalus gummifer, Traganthsträucher *483 und andere Arten 481.
○ Glycyrrhiza glabra, Süßholz *481. 483. *484.
○ Melilotus officinalis, Steinklee 481. 483.
○ Trigonella foenum graecum, Bockshornsamen 483.

○ Spartium scoparium 483.
○ Ononis spinosa, Hauhechel 481. 483.
+ Wistaria sinensis, Glycine 481.
⊕ Physostigma venenosum, Kalabarbohne 483.
○ Andira Araroba 483.
○ Pterocarpus santalinus 483.
○ — Marsupium 483.
+ Coronilla varia, bunte Kronwicke 481. *484.

Gruinales.

○ Linum usitatissimum, Lein *485. 486.
○ Erythroxylon Coca, Cocastrauch *486. 487.
○ Guajacum officinale, Pockholz 487.
⊕ Ruta graveolens, Raute *487. 489.
○ Citrus vulgaris, Pomeranze *486. 489.
○ — Limonum, Citrone 489.
○ — Bergamia, Bergamotte 489.
○ Pilocarpus pennatifolius 489.
○ — Jaborandi 489.
○ Picrasma excelsa, Jamaïsches Bitterholz 489.
○ Quassia amara, Surinam Bitterholz *487. 489.
○ Commiphora abyssinica 489.
○ — Schimperi 489.
○ Boswellia Carteri 489.
○ — Bhau Dajianae 489.
○ Canarium-Arten 489.
○ Polygala Senega, Senegastaude *488. 489.

Tricoccae.

+ Mercurialis annua, Bingelkraut *490.
○ Croton Tiglium 492.
○ — Eluteria 492.
⊕ Euphorbia resinifera *490. 492.
+ — Cyparissias *490 und andere Arten.
○ Hevea-Arten, Para-Kautschukbäume 491. 492.
⊕ Ricinus communis, Wunderbaum 491. *492.
○ Mallotus philippinensis 492.
○ Manihot Glaziovii, Ceara-Kautschukbaum 492.

Sapindinae.

+ Buxus sempervirens, Buchsbaum 493.
○ Pistacia Lentiscus, Mastixstrauch 493.
+ Rhus toxicodendron und andere Arten 493.
+ Evonymus europaeus, Pfaffenhütchen *493.
○ Paullinia cupana 494.

Frangulinae.

○ Rhamnus Frangula, Faulbaum *495. 496.
○ — cathartica, Kreuzdorn *495. 496.
○ — Purshiana 496.
○ Vitis vinifera, Weinstock *496.

Columniferae.

○ Tilia ulmifolia, Winterlinde 496. *497.
○ — platyphyllos, Sommerlinde 497.
○ Theobroma Cacao, Kakaobaum 497. *498.
○ Malva silvestris, Malve *499.
○ — neglecta 499.
Althaea officinalis, Eibisch *499.
○ Gossypium herbaceum, Baumwolle *500 und andere Arten 499.

Cistiflorae.

○ Thea chinensis, Teestrauch 499. *501.
⊕ Garcinia Hanburyi, Guttibaum 499.
○ Shorea Wiesneri, Dammarbaum 500.
○ Viola tricolor, Stiefmütterchen *501. *502.

Thymelaeïnae.

⊕ Daphne Mezereum, Seidelbast *503.

Myrtiflorae.

○ Eugenia caryophyllata, Nelkenbaum *505. 506.
○ Eucalyptus globulus 505. 506.
○ Melaleuca Leucadendron 506.
○ Punica Granatum, Granatbaum *506.

Umbelliflorae.

+ Hedera Helix, Efeu 507. *508.
○ Carum Carvi, Kümmel *509. 512.
○ Pimpinella Anisum, Anis *509. 512.
○ — Saxifraga } Bibernell 512.
○ — magna }
○ Foeniculum capillaceum, Fenchel *509. 512.
○ Levisticum officinale, Liebstöckel 512.
○ Petroselinum sativum, Petersilie 512.
+ Cicuta virosa, Wasserschierling *510. 511.
+ Sium latifolium, Merk *509. 511.
+ Berula angustifolia, Berle 511.
+ Aethusa Cynapium, Hundspetersilie *511.
+ Oenanthe-Arten, Pferdesaat *509. 511.
○ Archangelica officinalis, Engelwurz 511. 512.
○ Imperatoria Ostruthium, Meisterwurz 512.
⊕ Conium maculatum, Schierling *509. 511. *512.
○ Coriandrum sativum, Koriander *509. 512.
○ Dorema Ammoniacum 512.
○ Ferula galbaniflua 512.
○ — Narthex 512.
○ — Asa foetida 512.

Hysterophyta.

○ Santalum album, Sandelholz 513.
+ Viscum album, Mistel 513. *514.

Ericinae.

○ Arctostaphylos uva ursi, Bärentraube *515C
○ Vaccinium Myrtillus, Heidelbeere *515.

+ Rhododendron-Arten 515.
+ Azalea-Arten 515.
+ Ledum palustre, Porst 515.

Diospyrinae.

○ Palaquium-Arten *516.
○ Payena-Arten 516.
○ Styrax, Benzoin 516.

Primulinae.

+ Cyclamen europaeum, Alpenveilchen *517.
+ Anagallis arvensis, Gauchheil *517.
+ — coerulea 517.
+ Primula obconica 517.
+ — sinensis 517.

Contortae.

○ Fraxinus Ornus, Mannaesche *518. 519.
○ Olea europaea, Ölbaum *519.
⊕ Strychnos nux vomica, Brechnuß 519. *520.
○ Gelsemium nitidum 519.
○ Gentiana lutea, gelber Enzian 519. *520. 521.
○ — pannonica 521.
○ — punctata 521.
○ — purpurea 521.
○ Erythraea centaurium, Tausendgüldenkraut *520. 521.
⊕ Menyanthes trifoliata, Bitterklee 521.
+ Nerium Oleander, Oleander *522.
⊕ Strophanthus Kombe und Str. hispidus *521. 522.
○ Landolphia-Arten 522.
○ Hancornia-Arten 522.
○ Willoughbeia-Arten 522.
○ Aspidosperma Quebracho 522.
+ Vincetoxicum officinale *523.
○ Marsdenia Condurango 523.

Tubiflorae.

○ Exogonium Purga *524.
○ Convolvulus Scammonia 524.
○ Galeopsis ochroleuca *525. 528.
○ Lavandula vera, Lavendel *526. 528.
○ Salvia officinalis, Salbei *526. 527. 528.
○ Mentha piperita, Pfefferminze 527. 528.
○ — crispa, Krauseminze 527. 528.
○ Melissa officinalis, Melisse *527. 528.
○ Thymus Serpyllum, Quendel 528.
○ Thymus vulgaris, Thymian 528.
○ Rosmarinus officinalis, Rosmarin 528.
○ Origanum vulgare, Dost 528.
○ — Majorana, Mairan 528.

Personatae.

⊕ Nicotiana Tabacum, Tabak *531. 533.
+ — rustica, Bauerntabak 532.
+ Lycopersicum esculentum, Tomate 531.
⊕ Solanum Dulcamara, Bittersüß *529. 530.
+ — tuberosum, Kartoffel 530.
+ — nigrum, Nachtschatten 530.
⊕ Hyoscyamus niger, Bilsenkraut *532. 533.
⊕ Datura Stramonium, Stechapfel *530. 531. 533.
⊕ Scopolia carniolica 533.
⊕ Atropa Belladonna, Tollkirsche *528. 529. 533.
○ Capsicum annuum, Spanischer Pfeffer 532. 533.
⊕ Digitalis purpurea, Fingerhut *533. *534.
○ Verbascum phlomoides, Wollkraut 534.
○ — thapsiforme *533. 534.
+ Gratiola officinalis, Gnadenkraut *533.

Rubiinae.

○ Uragoga Ipecacuanha, Brechwurzel *539.
○ Cinchona succirubra, Chinabaum *537. *536. 538.
○ — Ledgeriana 538.
○ Ourouparia Gambir 537. 539.
○ Sambucus nigra, Holunder *540.
○ Valeriana officinalis, Baldrian *541.

Campanulinae.

○ Lobelia inflata *541. *542.
○ Citrullus Colocynthis, Bittergurke *543. 544.
+ Bryonia dioica, Zaunrübe *542. 543.

Aggregatae.

○ Arnica montana *544. 548. 549. *551.
○ Artemisia Cina 547. *549.
○ — Absinthium, Wermut 549.
○ Matricaria Chamomilla, Kamille *544. 547. *549.
○ Cnicus benedictus, Kardobenediktenkraut *546. *547. 550.
○ Tussilago farfara, Huflattich 547. *550.
○ Achillea millefolium, Schafgarbe 550.
○ Anthemis nobilis, römische Kamille 550.
○ Spilanthes oleracea 550.
○ Lappa vulgaris, Klette *544. 550.
○ Anacyclus Pyrethrum 550.
○ Taraxacum officinale, Löwenzahn *546. *548. 550.
○ Lactuca virosa, Giftlattich 546. 550.

Register.

* vor den Seitenzahlen bedeutet Abbildung.

Aasblüten 252.
Abies *388. 391. 394.
Abietineae 387.
Absorptionskraft des Bodens 158.
Acacia *476. *477.
— Jugendform *44.
— Ameisenpflanze *187. 476.
— Phyllodien *168.
Acanthaceae, Acanthus 536.
Acer, Aceraceae 493. *494.
Acetabularia *288. 289.
Achaene *409.
Achillea 547. 550.
Achimenes 535.
Achse 17.
Achselknospen 15.
Achselsprosse 15.
Acidum agaricinum 325.
Aconitum 457. *458. *459.
Acorus *422.
— Gefäßbündel der Wurzel *93.
Acrocomia, Austrittsstelle des Keimlings *261.
Ackerwinde 524.
Actaea 457.
Aderung 27.
Adiantum 354.
Adlerfarn 352.
Adonis *454.
Adventiv-Sprosse 16. 123.
— Wurzeln 38.
— -Bildungen 200.
— Keime 247. *248. 376.
Aecidiosporen 319.
Aecidium *318. 319.
Ähre *402.
Ährchen (Gramineae) *415. 416.
Äpfelsäure 68. 181. 216.
Aërobe, Aërobionten 195. 271.
Aërotropismus 233.
Aeschynanthus 535.
Äsculin 68. 181.
Aesculus *400. 494.
Ästivation 31.
Aethalium 268.
Ätherverfahren Johannsens 212.
Ätherische Öle 67. 81. 181.
Aethusa *511.
Ätzfiguren der Wurzeln 159.
Affinität, sexuelle 257.
Agar-Agar 298.
Agaricineen 324.
Agaricinum 325.
Agaricus *323. 324.
Agaricus albus 325.
Agathis 388.
Agave 429.
Aggeratum 546.
Aggregatae 544.
Agrimonia 472.
Agropyrum 418.
Agrostemma *451. 452.
Agrostis 418.
Ahorn *494.
Aira 418.
Ajuga 527.
Akropetal 9. 131.
Aktinomorph 12. *400.
Albugo 249. 304. *305.
Albuminate 50.
Alchemilla *471. 473.
Alectorolophus 533.
Aleuron *65. 180.
Algen (Algae) 8. 265.
Algenpilze 301. 302.
Alisma, Alismaceae 412.
Alkaloide 50. 62. 68. 181.
Allantoin 178.
Allium 427.
— Centralcylinder der Wurzel *98.
Allochlorophyll 54.
Alnus *441.
Aloë *427. 428. 429.
— Epidermis und Spaltöffnung *85.
Alopecurus 418.
Alpenrose 515.
Alpenveilchen 517.
Alpinia 433.
Alsineae 452.
Alsophila 349. *351. *352.
Alter von Pflanzen 213.
Althaea 498. *499.
Aluminium 152.
Alveolarplasma 51.
Amanita *325.
Amaryllidaceae 429.
Ameisenpflanzen *187. *188. *189.
Ameisensäure 68.
Amentiflorae 374. 438. 551.
Amicia, Schlafbewegungen *239.
Amide 50. 68. 150. 178.
Aminosäuren 150.
Ammoniacum 512.
Ammoniak als Nährstoff 150.
Amöben bei Myxomyceten 49.
— -Bewegung *215.
Ampelopsis *495. 496.
— Ranken *22. *235.
Amphibische Pflanzen 210.
Amygdalae 475.
Amygdalin 68. 181. 474.
Amylodextrin 65.
Amyloid 61. 65.
Amylose 65.
Amylum Tritici 418.
— Marantae 433.
— Oryzae 418.
Amylumherde *280.
Anabaena 188. 275.
Anacardiaceae 493.
Anacyclus 547. 550.
Anaërobe, Anaërobionten 195. 272.
Anagallis *517.
Analog 6.
Ananassa 430.
Anaphasen 71.

Anaptychia *331.
Anatomie 7. 45.
Anatrope Samenanlagen *370.
Anchusa 525.
Andira 483.
Andreaea, Andreaeaceen *342.
Andröceum 395.
Androgynisch 254.
Andromeda 515.
Andropogon 418.
Androsporen 286.
Aneimia *352.
Anemone *454. *456.
Anemophile Pflanzen 250.
Anethum 511.
Angiopteris 352.
Angiospermen 394.
— fossile 550.
— sexuelle Generation *404.
— Befruchtung *76. *407.
Anhalonium 503.
Anis 511.
Anisotropie 222.
Annuelle Pflanzen 24.
Annularia 367.
Annulus 351.
Anona, Anonaceae 460.
Antennaria 546.
Anthemis, Anthemideae 547.
Anthere 372. *395.
Antheridium-Mutterzelle 373. *376. 377. *381. *404.
Antheridien 281. 307. *332. 353.
Anthoceros, Anthocerotaceen 338. *339.
Anthocyan 68.
Anthoxanthum 418.
Anthriscus 511.
Anthurium 421.
Anthyllis 481.
Antifermente 178. 192.
Antiklinen 128.
Antipoden *405.
Antirrhineae, Antirrhinum 533.
Apfel *472.
Apfelsine 488.
Apium 511.
Aplanosporen 289.
Apobatische Chemotaxis 216
Apocarp 396.
Apocynaceae 521.
Apogamie 247. 248. 354.
Apophyse 343.
Aposporie 249. 354.
Apothecium 308. *310. 329.
Appositionswachstum 56. 205.
Aprikose 474.
Aqua Laurocerasi 475.
Aquifoliaceae 493.
Aquilegia *454. 457.
Araceen 421.
Arachis 481.
Araliaceae 507.
Araroba 483.
Araucaria 385. 389.
Arbuteae 515.
Archaeocalamites 367.
Archangelica 511. 512.
Archegoniaten 332.
Archegonium *333. 353. *377. *378. *382. 392.
Archiplasma 52.
Architypen 3.
Arctostaphylos *515.
Arcyria *269.
Areca 420. 421.
Arenaria 452.
Arenga 421.
Argemone 464.
Arginin 178.
Arillus *372.
Aristida, Blattquerschnitt *169.
Aristolochia, Aristolochiaceae 512. *513.
— Clematitis, Bestäubungseinrichtung *255.
— Stengelquerschnitt *97. *98.
— Cambiumring *106. *107.
Armeria 517.
Armillaria *322.
Armleuchtergewächse 298.
Arnica *544. *545. 548. 549. *551.
Arrhenatherum 418.
Arrowroot 433. 491.
Arsenpilze 187.
Artemisia 547. *549.
Arten, kleine (petites espèces) 245.
Artischoke 546.
Artocarpus 447.
Arum 422. *423.
Arve 391.
Asa foetida 512.
Asarum 512.
Aschenbestandteile 149. 177.
Asclepias, Asclepiadaceae 522. *523.
Ascobolus 311.
Ascogon 308. 311. 331.
Ascolichenen 329.
Ascomyceten 301. 307. 367.
Ascus 301. *307.
Asparageae 424.
Asparagin 50. 68. 178.
Asparagus 428.
— medeoloides *231.
Aspergillus fumigatus 186.
Asperifoliaceae 525.
Asperula 538. *539.
Aspidium *346. 349. *350. *352.
Aspidosperma 522.
Asplenium, Brutknospen *247.
Assimilate, Verwertung 177.
— Wanderung 178.
— Speicherung 180.
Assimilation 170 ff.
Assimilationsenergie, specifische 176.
Aster, Astereae 546.
Astragaleae, Astragalus 481. *483.
Astrantia 510.
Asymmetrisch 13. *400. 401.
Atavismus 132. 245.
Atemhöhle 86. 125.
Atemwurzeln 40. *197.
Atemöffnungen 125.
Atmung 192 ff.
— Coëfficient 194.
Atriplex 449.
Atropa *528. 529. 532.
Atrope Samenanlagen 370.
Atropin 181. 532.
Attraktionssphären 46.
Aubrietia 468.
Augentrost s. Euphrasia.
Auricularia, Auricularieen 321.
Ausläufer 20.
Auslösungen 137.
Außenwendigkeit 229.
Austrocknungs-Fähigkeit 155.
Autobasidien 316.
Autöcisch 320.
Autonome Krümmungen 221. 238.
— Schließbewegung 237.
Autotropismus 233.
Auxanometer *207.
Auxiliarzellen 298.
Auxosporen *277.
Avena *414. 418.
— Stärke 63. 174.
Avicennia 526.
— Atemwurzeln *198.
Azolla 356. 357.
Azygosporen 307.

Bacca 410.
Bacillus *270. *271. *272. *273.
— radicicola *185.
Baccharis 546.
Bacteriastrum *277.
Bacterium 270.
Bacteroiden 185.
Bärentatze 323.
Bärlappgewächse 361. 362.
Baiera 394.
Bakterien *8. 269. 367.
Balanophoraceae 514.
Balata 516.
Baldrian 540.
Balgfrucht *409.
Balsaminaceae 486.
Balsamum Copaïvae 479.
— peruvianum 483.

Balsamum tolutanum 483.
Bambusa 418.
— -blüte 417.
Banane 432.
Banyan 447.
Bartschia 533.
Bartflechte 330.
Basidien 302. *316. *321.
Basidiomyceten 301. 316.
Basidiosporen 302.
Basilicum s. Ocimum.
Basis 8. 126.
Bast 106. 113. *115.
Bastarde 256 ff.
Bastfasern 113.
Bastparenchym 113.
Baststränge 106. 113.
Batrachium 454.
Batrachospermum 294. *296.
Bauchpilze 325.
Bäume 23.
Baumfarne 351.
Baumwolle *87. 499.
Becherflechte 331.
Beere 410.
Befruchtung 42. 249.
— doppelte 250. *407.
Beggiatoa 272.
Begonia, Begoniaceae 502.
Beiknospen, Beisprosse 15.
Benzoë 516.
Berberidaceae, Berberis 460.
Bereicherungssproß 23.
Bergmehl 278.
Berle 511.
Bernstein 82.
Bertramswurzel 547.
Berula 511.
Berührungsreize 190. 216. 234. 240.
Bestäubung 250 ff.
Beta 449. *451.
Betaïn 178.
Betula 441 *442.
Betulin 122.
Bewegungserscheinungen 214 ff.
Bibernell 511.
Bicornes 515.
Bidens 547.
Biegungsfeste Konstruktion 144. *145.
Bienne 24.
Bignonia
— Stammquerschnitt *118.
— Flügelsame *258.
Bignoniaceae 534.
Bikollaterale Gefäßbündel 93.
Bilateral 12. 400.
Bildungsabweichungen 132.
Bilsenkraut 532.
Binse 424.
Biologie 135.
Birke 441.
Birkenwein 160.
Birkenharz 122.
Birkenteer 442.
Birne 472.
Bisymmetrisch 12. 400.
Bittergurke s. Colocynthis.
Bitterklee 520.
Bitterstoffe 68. 181.
Bittersüß 530.
Blätterschwämme 324.
Blasentang *291.
Blasia *10. 338. *339.
Blatt 11.
Blattaderung 27.
Blattanlage *14. 24. 130.
Blattausläufer 36.
Blattdornen *36. 37.
Blattentwicklung *25.
Blattfall 122. 214.
Blattgelenke 232. 238.
Blattgrund 25. 28.
Blattkissen 26.
Blattmetamorphose 35.
Blattnarbe 31.
Blattpolster 26. 232. 238.
Blattranken *36. 37. *236.
Blattscheide 25.
Blattspreite 25.
Blattspuren 102.
Blattstecklinge 202. 203.
Blattstellung *12. 31. *33.
Blattstiel 25.
Blattstiel-Ranker *236.
Blattstruktur 100.
Blattwanderer 37.
Blaugrüne Algen 173. 274.
Blausäure 181. 474.
Blendlinge 256 ff.
Blepharoplasten 53.
Blüte 22. *30. 369.
— Angiospermen 394.
— Gymnospermen 375.
Blütenachse 375. 395.
Blütenbecher 399.
Blütenblätter 25. 30. 395.
Blütenboden 398. 408.
Blütendiagramme *32. 401.
Blütendüfte 181. 251.
Blütenfarbstoffe 68. 181. 251.
Blütenformel 401.
Blütenhülle 394.
Blütennektarien 85. 399.
Blütensproß 22.
Blütenstand 14. 401.
Blütensymmetrie 400.
Bluten 160.
Blutungssaft 160.
— Druck *159. 160. 162.
Bockshornsamen 483.
Bodenabsorption 158.
Bodenbakterien, Tätigkeit 150. 159.
Bodenwurzel 37. 39.
Boehmeria 448.
Bohne 481.
Bohnenkraut s. Satureja.
Boletus 323. *324.
Boletus, Hyphengewebe *81.
Boraginaceae 524.
Borago, Boretsch 525.
Borke *121.
Borsten 88.
Boswellia 489.
Botrychium 352. *353.
Botrydium 286. *287.
Botrys 402.
Bovista 326.
Brachsenkraut 366.
Bracteen 30.
Brandpilze 316.
Brandsporen 317.
Brasilin 110.
Brassica *466. *467. 468.
Braunalgen 289.
Braunkohle 171.
Brennhaare *87. 88.
Brennessel 448.
Briza 418.
Brombeere 474.
Bromeliaceen 430.
Bromus 418.
Brotbaum 447.
Brotschimmel 309.
Bruguiera 505.
Brunnenfaden 272.
Brutbecher *336.
Brutknospen *18. 246. *336.
Brutzwiebeln 246.
Bryinae 343.
Bryonia *542. 543.
Bryophyllum 469.
Bryophyten 10. 124. 332. 367.
Bryopsis 289.
Buche 443. *444.
Buchsbaum 493.
Buchweizen 449.
Bulbillen *18. *247.
Bulbochaete *285. 286.
Bulbus 20.
Bulbus Scillae 429.
Bupleurum 511.
Burseraceae 489.
Butomus 412.
Butterblume 456.
Buttersäurebakterien *272.
Buxaceae, Buxus 493.

Cabomba *453.
Cactaceae 502.
Caesalpiniaceae 477.
Cakile 468.
Calabarbohne 483.
Calamagrostis 418.
Calamarieen 367.
Calamites 367.
Calamostachys 367.
Calamus 421.
Calciumoxalat 61. 63. *66. 177.
Calciumpectat 82.
Calendula, Calenduleae 549.

Calla 422.
Callithamnion 294. *295.
Callitrichaceae 492.
Callitris 394.
Calluna 515.
Callus 113. 123. 203.
Callusplatten 79.
Caloritropismus 232.
Caltha 456. *457.
Calystegia 524.
Cambium 105. *106. *107. 118.
Campanula, Campanulaceen 541. *542.
Campanulinae 541.
Camphora 462.
Campylotrop 370.
Cananga 460.
Canarium 489.
Canna, Cannaceae *432. 433.
Cannabinaceae, Cannabis 447.
Cantharellus 325.
Capillarität beim Saftsteigen 162.
Capillitium 268. 326.
Capitulum 402.
Capparis, Capparidaceae *468.
Caprifoliaceae 539.
Capsicum 532. 533.
Capsella *466. 468.
— Keim *408.
— Samen *371.
Capsula 409.
Caragana 481.
Cardamine *466.
Cardamone 432. 433.
Carduus *544. *545. 546.
Carex *414. 415.
Carica, Caricaceae 502.
Carnivore Pflanzen *190. *191.
Carotte 511.
Carpell 396.
Carpinus 441. *442.
— Keimpflanze *43. *158.
Carpodinus 522.
Carpogon 296. 307. *310. *315. 331.
Carpophor 508.
Carposporen 296.
Carrageen 298.
Carum *509. 511. 512.
Caruncula *372. 489. *490.
Caryophyllaceae 449.
Caryophylli 506.
Caryopse 409.
Cascara sagrada 496.
Cassave 491.
Cassia 477. *478. 479.
Cassytha 462.
Castanea 444.
Castilloa 447.
Casuarinaceae 438.
Catalpa 534.
Catechu 477. 539.
Caudicula 436.
Caulerpa *288. 289.
Caules Dulcamarae 533.
Cauliflor 479. 497.
Cautschuc 447. 492. 522.
Cecidien 132.
Cecropia 189. 447.
Cedrus 391. 394.
Celastraceae 493.
Cellulose 59.
Celtis 446.
Centaurea 545. 546.
— reizbare Staubfäden *241.
Centralcylinder *97.
Centralkörner 46.
Centralkörper 46.
Centralplacenta 397.
Centranthus 541.
Centricae 276.
Centrifugalkraft, Wirkung auf Pflanzen 227.
Centriolen 46. 53. 71. 72.
Centrosom 46. 53.
Centrospermae 448.
Cephalanthera 435.
Cephalanthus 537.
Cephalotus 470.
Cephaëlis s. Uragoga.
Cerastium *404. 452.
Ceratiomyxa 268.
Ceratium *278.
Ceratophyllaceae, Ceratophyllum 453.
Ceratozamia *381.
Cercis *476. 479.
Cereus *502.
Cerinthe 525.
Ceriops 505.
Cetraria *328. *329.
Ceylonzimmt 462.
Chaerophyllum 511.
Chaetocladium 307.
Chalaza 370.
Chalazogamie 405. *406.
Champignon *323. 324.
Chara *299.
— Spermatozoid *75.
Characeen 298. 367.
Cheiranthus *466. 468.
Cheirostrobus 368.
Chelidonium 464.
Chemosynthese 174.
Chemotaxis 216.
Chemotropismus 233.
Chenopodiaceae, Chenopodium 449.
Chinabaum *536. *537. 538.
Chinarinde, Chinin 538.
Chiropterophile 252.
Chitin 60.
Chlamydosporen 301. 318.
Chlorella, Symbiose 188. 282.
Chlorococcum 327.
Chlorophyceae 281.
Chlorophyll 53. 172 ff.
— Bildungsbedingungen 174.
— Mg-Gehalt 151.
Chlorophyllkörner, -Körper 53. *77.
— Funktion 172.
— wechselnde Anordnung *218.
Chloroplasten *53.
Chlorose 151.
Choanephora 307.
Choiromyces 313.
Choleravibrio *273.
Chondrioderma *48. 268.
Chondrus 294. *295. 298.
Choripetalae 437.
Chromatin 52. 69.
Chromatische Adaption 173.
Chromatophoren 46. 53. 77.
Chromoplasten *55.
Chromosome 69. *70.
Chroococcus 275. 332.
Chroolepideen, Chroolepus 285.
Chrysanthemum 547. 550.
Chrysarobinum 483.
Chrysobalaneae 470. 474.
Chrysophyll 54.
Cibotium 354.
Cichorie, Cichorium *545. 546.
Cicuta *510. 511.
Cilienbewegung 48. 215.
Cimicifuga *454.
Cinchona *536. *537. 538.
Cineraria 548.
Cinnamomum 461. 462. *464. 551.
Circaea 505.
Circulation des Protoplasmas *51. 217.
Circumnutationen 221.
Cirsium 546.
Cissus 496.
Cistaceae, Cistus 500.
Cisternenpflanzen 169.
Cistiflorae 499.
Citrone 488.
Citrullus *543. 544.
Citrus *486. 488. 489.
Cladodien 20. *21.
Cladonia *330.
Cladophora *284. 285.
— Gestalt *9.
— vielkernig *52.
— Zellteilung *73.
Cladostephus *9. 289. *291.
Cladothrix *270. 272.
Clavaria, Clavarieen 322. *323.
Claviceps *81. 312. *313.
Cleistocarpae 343.
Clematis 454.
— Markzellen *56.
Clerodendron 526.

Closterium *279.
Clostridium *272.
Cnicus 546. *547. 550.
Cobaea 524.
Cocaïn 487.
Cocconeïs 278.
Cochenillekultur 503.
Cochlearia *467. 468.
Cocos *419. *420. *421.
Coffea 537. *538.
Coffeïn 181.
Cohäsion des Wassers 163. 221.
Cohäsionsmechanismen 221.
Cola 497.
Colchicum 424. *425. *426. 429.
Collema 328. *330.
Colleteren 90.
Colloide 178. 206.
Colonbacillus *273.
Columella 269. 305. 335. 342. 345.
Columniferae 496.
Colutea 481.
Combretaceae 505.
Commelinaceae 424.
Commiphora 489.
Compositae 545.
Conceptacula 292.
Confervoideen 284.
Conidien 301.
Coniferae 384.
Coniferin 181.
Conium *509. *512.
Conjugatae 279.
Connectiv 395.
Constanz der Arten 245.
Contactreize 190. 216. 234. 240.
Contagium fluidum 187.
Contortae 518.
Convallaria 428. 429.
— Habitus *25.
Convolvulaceae, Convolvulus *524.
Copaïfera 478. 479. *480.
Copra 420.
Copulieren *203. 204.
Cora 329. *331. 332.
Corallinaceen 294. 367.
Coralliorrhiza 435.
— Rhizom *19.
Corchorus 496.
Cordaïtes 393.
Cordyline, Dickenzuwachs *119.
Coriandrum *509. 512.
Cormophyten 10.
Cormus 10. 11.
Cornaceae, Cornus *507.
Cornelkirsche 507.
Coronilla 481. *484.
Corolle 395.
Correlationen 201.
Corrosion der Stärke *179.
Cortex Cascarillae 492.
— Chinae 538.
— Cinnamomi 462.
— — zeylanici 462.
— Condurango 523.
— Frangulae 496.
— Fruct. Aurant. 489.
— Fruct. Citri 489.
— Granati 506.
— Mezereï 503.
— Quebracho 522.
— Quercus 445.
— Quillajae 475.
— Rhamni Purshianae 496.
— Salicis 441.
— Sassafras 462.
Corydalis 465. *466.
Corylus 442. *443.
Cosmarium *279.
Crambe *466. 468.
Crassula 469.
Crassulaceae 469.
Crataegus 472.
— Blattnervatur *165.
Crenothrix 272.
Crepis 546.
Cribralparenchym 92.
Cribralprimanen 95.
Cribralteil 92.
Cribraria *269.
Cribrovasalbündel, Cribrovasalstränge 92.
Crocus *430.
Croton 489. 492.
Cruciferae 465.
Cryptomeria 394.
Cryptospora *312.
Cubebae 437. *438.
Cucumis 541.
Cucurbita 543.
— Pollenkorn *59. *396.
— Siebröhren *78.
— Fühltüpfel *57.
— Keimlinge 232. *233. 262.
— Ranken *234. 541. 543.
Cucurbitaceae 541.
Cupressineae 385.
Cupressus 387.
Cupula *443.
Cupuliferae 443.
Curare 519.
Curcuma 432. 433.
Cuscuta (Teufelszwirn) *183. 236. 524.
Cuticula 84.
Cutin, Cutinisierung 60.
Cutleriaceae 292.
Cyanophyceen 274.
Cyathea, Cyatheaceen 349.
Cyathium 489. *490. *491.
Cycadaceae, Cycas 379. *380.
Cycadinae 379.
Cycadites 394.
Cycadofilices 367.
Cyclamen *517.
Cydonia 472. 474.
Cyklus 34.
Cymöse Blütenstände *403.
Cynara, Cynareae 546.
Cyperaceae, Cyperus 413. 415.
Cypresse 387.
Cypripedium 435.
Cystiden 321.
Cystocarp 296.
Cystolithen 58. *59. 61.
Cystopus 304.
Cytisus *481. *483.
Cytoplasma 46. 50.

Dactylis 418.
Dahlia 547.
— Wurzelknollen *39.
Dammar 389. 500.
Dammara 388. 394.
Daphne *503.
Darlingtonia 469.
— Tierfang 191. 469.
Dattelpalme 420.
Datura *530. 532. 533.
Daucus 511.
— Farbkörper *55.
Dauergewebe 83.
Deckblatt 15. 30. 404.
Deckelkapsel 409.
Deckspelzen 416.
Degeneration 134.
Dekussierte Blattstellung 12. 32.
Delesseria 294.
Delphinium 457.
Dentaria, Brutzwiebeln *18.
Dermatogen 129.
Descendenzlehre 1.
Desmidiaceen 279.
Deutzia 470.
Dextrin 65.
Dextrose 59.
Diageotropismus 229.
Diagramm *12. *32. 401.
Dianthus 452.
Diapensia *397.
Diastase 50. 178.
Diatomeen *8. 275. 367.
Diatomin 276.
Diatropische Reizbewegungen 223.
Dicentra 465.
Dichasium 403. *404.
Dichogamie 253.
Dichotomie *13. 131.
— falsche 14.
Dickenwachstum der Wurzel 116. *117.
— Anomalien *117. *118.
— des Stammes 106.
— des Grundgewebes 104.
— der Monokotylen 118. *119.
— der Blätter 119.

Dickenwachstum, geotropisches 232.
Dicranophyllum 394.
Dictamus 487.
Dictyonema 332.
Dictyota, Dictyotaceen *9. 289. 294.
— Scheitelzelle *126.
Diervilla 540.
Digestionsdrüsen *89. 90. 190.
Digitalis *533. *534.
Diklin 394.
Dikotylen 407. 436.
Dill 511.
Dimorphe Heterostylie *254.
Diöcisch 253. 375.
Dionaea *191. 469.
Dioscoreaceae 430.
Diosmose 141.
Diospyrinae, Diospyros 516.
Diphteriebacillus *273.
Dipleurisch 105. 120.
Diplocaulisch 23.
Diplococcus *273.
Diplostemon 400.
Dipsacaceae, Dipsacus 544.
Diptam 487.
Dipterocarpaceae 500.
Dischidia Rafflesiana 523.
— Urnenblätter 170.
Discomyceten 309.
Discus 399.
Distel 546.
Divergenz 33.
Diversiflorae (Compos.) 546.
Dolde 402.
Dominierende Merkmale 245.
Doppelbrechung organischer Substanzen 206.
Doppelte Befruchtung 250. *407.
Dorema 512.
Dornen *22. 40.
Doronicum 548.
Dorsiventral 13. *400. 401.
Dorstenia 447.
Draba 468.
Dracaena *428. 551.
— Raphiden *66.
— Dickenzuwachs *119.
Drachenbäume 428.
Dreiachsig 23.
Drosera 469.
— Digestionsdrüsen *89. *190.
— Blatt *190.
Droseraceae 469.
Drosophyllum 469.
Druckfeste Konstruktion *145. 146.
Drüsen 89.
Drüsenhaare *88.
Drüsenschuppen *88.
Drüsenzotten *89. 90.
Drupa 410.
Dryas 474.
Dryobalanops 500.
Dryophyllum 552.
Dudresnaya *297.
Düfte 181. 251.
Dunkelheit, Wirkung 224.
Dunkelstarre 241.
Durchlässigkeit des Plasmas 141. 154.
Durchlaßstreifen 99.
Durchlaßzellen 99.
Durchlüftung von Pflanzen *197.
Durra 418.
Düte 29.

Ebenaceae 516.
Ebenholz 516.
Ecballium *542.
Echinocactus 502.
Echinodorus *412.
Echinops 546.
Echium *525.
Ectocarpus 289. *292.
Edeltanne 391.
Edelweiß 546.
Efeu 507. *508.
Ehrenpreis s. Veronica.
— cypressenartiger 169.
Ei 76. 266.
Eiapparat *405.
Eibe *384. 385. *386.
Eiche 444. *445.
Eierschwamm 325.
Eikern 77.
Eiknospen 299.
Einachsig 22.
Einbeere 428.
Eingeschlechtige Blüten 253. 375. 394.
Eingraben der Früchte und Samen 220. 232. 260. 481. 485.
Einhäusig 253. 375.
Einjährige Pflanzen 24.
Einkorn 417.
Einwirkungen, äußere 138. 200. 208.
Eisbildung in Pflanzen 139.
Eisenbakterien 195. 272.
Eisenhut 457.
Eiterkokken *273.
Eiweiß, Synthese 177.
— Transport 178.
Eiweißkristalle 65. 66.
Eizelle 370. *378. *405.
Elaeagnaceae 503.
Elaeis 421.
Elastizität der Pflanzen 140. 144.
Elateren 335. 338.
Elektrotropismus 233.
Elemi 489.
Elettaria 432. 433.
— Samen *371.
Elfenbeinpalme 61. 421.
— Endosperm *78.
Elodea 413.
Elyna *414.
Embryo 42. 370. *408.
Embryologie 42.
Embryonal 14.
Embryonale Zellen 213.
Embryophyta zoidiogama 346.
— siphonogama 373.
Embryosack 71. 369.
— Vielzellbildung *74.
Embryosackkern, primärer 404.
— sekundärer 405.
Embryoträger 363. 407.
Emergenzen 41.
Emmer 417.
Emulsin 63.
Enantioblastae 424.
Encephalartos 394.
Endivie 546.
Endocarp 408.
Endocarpon 329.
Endodermis 97. 99.
Endogen 16. 38.
Endosperm 370. 407.
Endosporen 271.
Endothecium 395.
Endophyllum, Basidie *316.
Engelsüß 349.
Engelwurz 511.
Enteromorpha *283. 284.
Entomophilie 251.
Entwicklungsfähigkeit 5.
Entwicklungsperioden 211.
Enzian s. Gentiana.
Enzyme 178. 187. 190. 191.
Ephebe 328.
Ephedra *392. *393.
Ephemerum *342.
Epidermis *83. *84. 97.
Epigäische Keimblätter 261.
Epigyn *398.
Epilobium 505.
Epinastie 221. 234.
Epipactis 435.
— Zellteilung *73.
Epiphyten 28. 40. 169.
Epipogon 435.
Epitheme 102.
Equisetinae 358. 367.
Equisetum *358. *359. *360.
— Gefäßbündelverlauf *102.
Erbse 481.
— Ranken *36.
Erbungleiche Teilung 245.
Erdbeere 474.
Erdbrot 330.
Erdnuß 481.
Erdstern 327.
Erfrieren 139.

Erica 515.
Ericaceae, Ericinae 515.
Erigeron 546.
Eriobotrya 472.
Eriophorum 413. *414. 415.
Erle 441.
Ernährung 148 ff. 182 ff.
Erneuerungssprosse 23.
Erntezahl, deutsche 176.
Erodium 486.
— gruinum, hygroskopische Früchtchen *220.
Ersatzfasern 111. *113.
Ersatzbastfasern 113.
Eryngium 510.
Erysipelkokken *273.
Erysiphe 308.
— Sporenbildung *75.
Erysipheen 308.
Erythraea *520. 521.
Erythroxylaceae, Erythroxylum *486. 487.
Esche 519.
Escholtzia 464.
Espeletia 547.
Essigbakterien *272.
Etagencambium 105. 120.
Etiolement 209. 210. 211.
Eucalyptus 505. 506.
Eucheuma 298.
Eudorina 282.
Eugenia *504. *505. 506.
Euglena *267.
Eumycetes 300.
Eupatorium 546.
Euphorbia 489. *490. *491. 492.
— globosa, succulent *170.
Euphorbiaceae 489.
Euphorbium 492.
Euphrasia 533.
Eurotium *309.
Euryale 453.
Eusporangiatae 352.
Evonymus *493.
— Vegetationsscheitel *24.
Exine 357. 373. 396.
Exoasci, Exoascus 313.
Exobasidium *322.
Exocarp 408.
Exodermis 100.
Exogen 16.
Exogonium *524.
Exosporen 301.
Exothecium 376.
Exotropismus 229.
Extractum ferri pomati 474.
Extrors 395.

Fadenpilze 300.
Fadenplasma 51.
Färbungsmethoden 49.
Fäulnis 186. 187.
— Bakterien *272.
Fagopyrum *398. *409. 449.
Fagus *443. 444.
— Winterknospen *18.
— Blattquerschnitt *101.
Fallverzögerung der Samen 258.
Faltung *146. 147.
Farbhölzer 61.
Farbstoffe in Pflanzen 61. 181.
Farbträger 46.
Farne 349.
Farnpflanzen 11. 345.
Fascicularcambium 106.
Fasertracheïden *62. 110.
Faulbaum 495.
Federharze 182.
Feige 447.
— parthenocarp 201.
Feigengallwespe 190.
Feldsalat 541.
Feldulme, Blattentwicklung *25.
Fenchel 511.
Fermente 50. 178. 190. 191.
Ferula 511. 512.
Festigung des Pflanzenkörpers 140 ff.
Festuca *415. 418.
Fette 50. 62. 67.
Feuerschwamm 324.
Fibröse Schicht 395.
Fibrovasalbündel 92.
Fichte *389.
Fichtenspargel s. Monotropa.
Ficus *447.
— Cystolith *59.
Filago 546.
Filament *395.
Filarplasma 51.
Filices, Filicinae 71. 349. 367.
Fingerhut 533.
Flachs, vgl. Lein.
Flachsprosse 20.
Flächenstellung 218.
Flachsseide s. Cuscuta.
Flagellata 267.
Flaschenkork nach Hooke *45.
Flechten 266. 327.
— Symbiose 188.
Fleckenkrankheit des Tabaks 187.
Flieder s. Sambucus.
Fliegenschwamm *325.
Flores Arnicae 549.
— Chamomillae 549.
— Ch. romanae 550.
— Cinae 549.
— Koso 474.
— Lavandulae 528.
— Malvae *499.
— Rhoeados 465.
— Rosae 474.
— Sambuci 540.
Flores Spiraeae 475.
— Tiliae 497.
— Verbasci 534.
Florideen 294.
Flügelsamen und -Früchte *258.
Fluktuierende Variation 132.
Fluorescenz von Meeresalgen 198.
Flutende Bewegung des Protoplasma *219.
Foeniculum *509. 512.
Folgemeristeme 83. 120.
Folia Aconiti 457.
— Adianti 354.
— Althaeae 499.
— Aurantii 489.
— Belladonnae 532.
— Coca 487.
— Digitalis 534.
— Eucalypti 506.
— Farfarae 550.
— Hyoscyami 533.
— Jaborandi 489.
— Juglandis 440.
— Malvae 499.
— Melissae 528.
— Menthae crispae 528.
— M. piperitae 528.
— Nicotianae 533.
— Rosmarini 528.
— Rubi fruticosi 475.
— Salviae 528.
— Sennae 479.
— Stramonii 533.
— Taraxaci 550.
— Theae 499.
— Trifolii fibrini 521.
— Uvae ursi 515.
Folliculus 409.
Fontinalis 345.
Formentwicklung 7.
Fortleitung von Reizen 223. 241.
Fortpflanzung 242 ff.
Fortschleudern der Samen und Sporen 220. 259.
Fovea 366.
Fraktionierte Endospermbildung 407.
Fragaria 474.
Fragmentation *72.
Frangulinae 495.
Frauenhaar 354.
Frauenschuh 435.
Fraxinus *518. 519.
Freycinetia 418.
Fritillaria 429.
Frucht 372. 408.
Fruchtblätter 30. 370. 395.
Fruchtknoten 374. 396.
Fruchtstand 410.
Fructus Anisi 512.
— Anisi stellati 460.
— Aurantii immaturi 489.
— Cannabis 448.

Fructus Capsici 533.
— Cardamomi 433.
— Carvi 512.
— Cassiae fistulae 479.
— Colocynthidis 544.
— Conii 512.
— Coriandri 512.
— Foeniculi 512.
— Juniperi 391.
— Lauri 462.
— Myrtilli 515.
— Papaveris 465.
— Petroselini 512.
— Rhamni cathart. 496.
— Sennae 479.
— Vanillae 436.
Frühholz 108.
Frühjahrspflanzen 212.
— Geotropismus 232.
Frühtreiberei 212.
Frullania 338. *339.
Fucaceae 291. 292.
Fuchsia *504. 505.
Fucosan 291.
Fucus *290. *292. *293.
— Zellkern *46. *71. *72.
Fucus amylaceus 298.
Fühl-Borsten, -Haare, -Papillen 90. -Tüpfel *57.
Füllgewebe 96.
Füllungen 145.
Füllzellen 122.
Fuligo 268.
Fumaria, Fumariaceae 465.
Funaria *334. 341.
— Blattzellen *53.
— Chlorophyllkörner *77.
Fungi 265. 300.
Fungus Chirurgorum 325.
Funiculus 370.
Funkia *406.
— Adventivkeime *248.
Futtergräser 418.

Gabelung *13. *15.
Gärung 186. 196.
Gaisblatt 540.
Gärungsbakterien *272.
Galanthus 429.
Galbanum 512.
Galegeae 481.
Galeopsis *525. 527. 528.
Galgant 433.
Galium 538.
Gallae 445.
Gallen 132. 201.
Gallertflechten 328.
Gallerthüllen der Samen 260.
Galmeipflanzen *148. 149.
Gambir 539.
Gametangien 281.
Gameten 76. 266. 281.
Gametophyt 297. 346.
Garcinia 499.
Gasteromyceten 325.
Gaswechsel in Pflanzen 171. *175. 192. 197.
Geaster *326.
Gefäßbündel *91. *92. *93. *94.
— bikollaterale 93.
— concentrische 94.
— geschlossene 95.
— kollaterale 93.
— offene 95.
— der Wurzeln 93.
Gefäßbündelendigung *95.
Gefäßbündelsystem 83. 91.
Gefäßbündelverlauf *102. *103.
Gefäße *58. 79. 110.
Gefäßkryptogamen 11. 347.
Gefäßpflanzen 125. 265.
Gefäßteil 92.
Gefäßtracheïden *62. 80.
Geflecht 80. *81.
Gegenfüßlerinnen 405.
Gehilfinnen 405.
Geißelbewegung 48. 215.
Geleitzellen 92. 113.
Gelenkpolster 27; s. auch Blattpolster.
Gelsemium 519.
Gemmen 301.
Generatio aequivoca 4.
Generationswechsel 333. 373.
Generative Zellen 373. 377. *407.
Genista 480.
Gentiana, Gentianaceae 519. *520. 521.
Geograph. Verbreitung 139.
Georgine 547.
— Wurzelknollen *39.
Geotropismus 226 ff.
Geradestreckung 233.
Geraniaceae, Geranium *485. 486.
Gerbstoffe 61. 62. 63. 66. 68. 122. 181.
Gerste *416. 417.
— Wurzelspitze *129.
Gesneriaceae 535.
Getreidebrand 317.
Getreideregen 246.
Getreiderost 320.
Geum 474.
Gewebe 80.
— primäre 83.
— sekundäre 105.
Gewebearten 82.
Gewebelehre 80.
Gewebespannung 143 ff.
Gewebesysteme 83.
Gewebeverteilung 96.
Gewürznelken 505.
Gichtmorchel 327.
Gießkannenschimmel 309.
Gifte 181.
Giftlattich s. Lactuca virosa.
Giftreizker 325.
Giftwirkungen 149. 186. 187.
Gigartina 294. *295. 298.
Ginkgo *383. 394.
Ginkgoaceae 383. 394.
Ginkgoinae 383.
Gladiolus 430.
Glandulae Lupuli 448.
Glaucium *464.
Gleba 326.
Glechoma 527.
Gleditschia 479.
— Stammdornen *22.
Globoide 65.
Glochiden 358.
Glockenblume 541.
Gloeocapsa *8. *275.
Gloxinia 535.
Glukogen 67.
Glukosen 67. 175.
Glukoside 68. 181.
Gluma 416.
Glumiflorae 413.
Glutamin 50. 68. 178.
Glycine s. Wistaria.
Glycyrrhiza 481. 483. *484.
Gnadenkraut s. Gratiola.
Gnaphalium 546.
Gnetaceae, Gnetinae, Gnetum *392. 393.
Goldlack 468.
Goldregen 481.
Gonidien 328.
Gossypium 499. *500.
— Samenhaare *87.
Gracilaria 298.
Gradzeilen 22.
Gräser 415.
Gramineae 415.
— Blattscheide *28.
Grana 53.
Granatbaum 506.
Granne 416.
Graphis 330.
Grasknoten, geotropisches Verhalten *232.
Gratiola *533.
Gravitation s. Schwerkraft.
Griffel 398.
Größe v. Pflanzen 162. 199. 258.
Grünalgen 281.
Gruinales 485.
Grundform 6. 11.
Grundgewebesystem 83. 96.
Grundglieder 11.
Grundspirale 34.
Guajacum 487.
Guarana 494.
Guayava 505.
Gummi 61. 82. 182.
Gummi arabicum 476.
Gummigutt 500.
Gummiharze 61.
Gummosis 61.
Gurke 541.

Gurke, parthenocarp 201.
Gurtungen *145.
Guttapercha 67. 182. 516. 522.
Gutti 500.
Guttiferae 499.
Gymnadenia 435.
Gymnodinium 279.
Gymnospermae 375.
— fossile 393.
Gynandrae 433.
Gynöceum 395. 396.
Gynostemium 435. 512.
Gyromitra 311.

Haare 41. 87.
Haastia 546.
Habichtschwamm 323.
Habitus 23.
Hadrom 92.
Hadromal 60.
Haematococcus 283.
Haematoxylin 110.
Haematoxylon 479.
Haemoglobin 54.
Hafer 418.
— Stärke *63.
Haftscheiben an Ranken 22. *235. 236.
Haftwurzeln 40.
Hagenia *473. 474.
Hainbuche 441.
Halbschmarotzer 184.
Halimeda 289.
Hallimasch *322.
Halophyten *151. 152.
Halorrhagidaceae 505.
Hamamelidaceae 470.
Hancornia 522.
Hanf 447.
Haplocaulisch 22.
Haplostemon 400.
Hapteren 41. 89.
Hartbovist *326.
Hartlaubgewächse *168. 169.
Hartschaligkeit 261.
Harveyella 298.
Harz 67. 81. 182.
Harzdrüsen 81. 89.
Harzgänge 116.
Harzgallen 81.
Harzhüllen *167. 168.
Harzkanäle 81. 110.
Haschisch 448.
Hasel 442.
Haube 343.
Hauhechel 481.
Hauptwurzel 39. 379.
Hausschwamm 324.
Haustorien 41. *183. 184.
Hautgewebesystem 83.
Hautschicht 50.
Hedera 507. *508.
Hedychium 433.
Hedysareae 481.
Hefepilze 315.
Hefesprossung 314.
Hefezellen *8.
Heidekraut 515.
Heidelbeere 515.
Helianthemum 500. *501.
Helianthus, Heliantheae *545. 547.
Helichrysum 546.
Heliotaxis 216.
Heliotropismus 223 ff.
Heliotropium 525.
Helleborus 456. *457.
— Blattbildung *30.
— Epidermis *84.
Helobiae 412.
Helvellaceen 311.
Hemerocallis *373.
Hemiasci 308.
Hemibasidii 316.
Hemmungsbildungen 30.
Hepaticae 335.
Heracleum 511.
Herba Absinthii 549.
— Cannabis 448.
— Capilli Veneris 354.
— Cardui benedicti 550.
— Centaurii 521.
— Chenopodii 449.
— Cochleariae 468.
— Conii 512.
— Convallariae 429.
— Galeopsidis 528.
— Herniariae 452.
— Hyoscyami 533.
— Lobeliae 541.
— Majoranae 528.
— Meliloti 483.
— Millefolii 550.
— Origani 528.
— Rutae 489.
— Sabinae 391.
— Serpylli 528.
— Spilanthis 550.
— Thymi 528.
— Violae tricoloris 501.
Herbstholz 108.
Herbstzeitlose vgl. Colchicum.
Herkogamie *255. *256.
Hermaphrodit 253. 394.
Herniaria 452.
Hesperidin 68.
Heterobasidion 324.
Heteröcisch 320.
Heterocysten 275.
Heterogame Köpfchen 545.
Heterogenesis 245.
Heteromer 328.
Heterophyllie 28.
Heterospor 348.
Heterostylie *254.
Heubacillus *271.
Hevea 491. 492.
Hexenbesen 314.
Hexenei 327.
Hexenmehl 363.
Hexenringe 322.
Hexosen 175.
Hibernakeln 246.
Hibiscus 499.
Hieracium *545. 546.
Hilum 371.
Himbeere 474.
Hippocastanaceae 494.
Hippophaë 503.
Hippuris 505.
— Vegetationspunkt *127.
Hirschzunge 349.
Hirse 418.
Histologie 7. 45.
Hochblätter 25. *30. 404.
Hoftüpfel *57.
Holcus 418.
Holunder 539.
Holunderschwamm 321.
Holz 106.
Holzfarbstoffe 109.
Holzfaser 110. *113.
Holzgewächse 23.
Holzkörper 106. *114.
Holzparenchym 110. *113.
Holzparenchymatische Gewebeart 111.
Holzstoff 60.
Holzstränge 106. 110.
Holzteil 92.
Homoeomer 328.
Homolog 6.
Homospor 348.
Honigtau 312.
Hoodia 523.
Hopfen 447.
— Drüsen *88.
Hordeum *416. 418.
— Wurzelscheitel *129.
Hormogonien 275.
Hornklee 481.
Hortensie 470.
Hosta, Adventivkeime *248.
Huflattich 547.
Hüllspelzen 416.
Hülse 409.
Humboldtia *188. 478.
Humulus 447. *448.
— Drüsenhaare *88.
Hundspetersilie 511.
Hyacinthus 427.
Hyaloplasma 50.
Hybride 256 ff.
Hydathoden 89. 102. 167.
Hydneen, Hydnum *323.
Hydnophytum 538.
Hydrangea 470.
Hydrastin 457.
Hydrastis 457. *459.
Hydrocharis 413.
Hydrocharitaceae 413.
Hydrocotyle 510.
Hydrodictyon 282.
Hydrolapathum *9. 294.
Hydrophyllaceae 524.
Hydropteriden 354.

Hydrophile 251.
Hydrotropismus 232.
Hygrometer 221.
Hygroskopische Krümmungen *220.
Hylocomium 345.
Hymenium 321.
Hymenogastreen 326.
Hymenolichenen 332.
Hymenomyceten 321.
Hymenophyllaceen 353.
Hyoscyamus *532. 533.
Hypanthium 398.
Hypecoum 465.
Hypericum 499. *501.
Hyperplasie 134.
Hypertrophie 134.
Hyphaene 418.
Hyphen 53. 80. 125. 300.
Hyphomycetes 300. 367.
Hypnum *344.
Hypokotyl 43. 379.
— Verhalten bei Keimung 262.
Hypoderma 99. *145.
Hypogäisch 261.
Hypogyn *398.
Hyponastie 221.
Hypophyse 407.
Hysterophyta 512.

Iberis 468.
Idioblasten 63. 96.
Ilex *493.
Illegitime Befruchtung 254.
Illicium 460.
Imbibition 153. 220.
Immergrün 521.
Immortellen 546.
Impatiens 487.
— Collenchym *59.
— Gefäßbündel - Endigung *95.
Imperatoria 512.
Indican 181.
Indigopflanzen 181.
Indigofera 481.
Indusium 351.
Inflorescenz 14. 401.
Infusorienerde 278.
Ingwer 432.
Initialencambium 105.
Innovationssproß 23.
Insekten als Befruchtungsvermittler 251.
Insektenblütige 251.
Insektenpulver 550.
Insektivoren *35. *190. *191. 469.
Integumente 70.
Intercellularräume 80. 197. 198.
Intercellularsubstanz 82.
Interfasciculararcambium 106.
Interkalares Wachstum 17. 208.
Intermittierende Reizung 225. 234.
Internodien 17.
Intine 373.
Intramoleculare Atmung 194.
Intrors 395.
Intussusceptions - Wachstum 56. 205.
Inula, Inuleae 546.
Inulin 68. 180. 545.
Invertin 50.
Ipomoea 524.
Iridaceae, Iris *430. *432.
— Diagramm *32.
— Wurzelcentralcylinder *99.
Irisieren von Algen 198.
Irländisches Moos 298.
Isatin 181.
Isatis 468.
Isländisches Moos 330.
Isoëtaceae, Isoëtes *365. 366. 368.
Isogamie 266. 281.

Jahresperiode 212.
Jahresringe 108.
Jambosa 505.
Jasione 541.
Jasminum 519.
Jatrorrhiza *461.
Jod, in Meeresalgen 152. 294.
Jodprobe *174. 175.
Johannisbeere *470.
Johannistrieb 108.
Judasohr 321.
Jugendformen 44.
Juglandaceae, Juglans 438. *439. 440.
Juncaceae, Juncus *424.
Juncaginaceae 413.
Jungermanniaceen 338.
Juniperus *386. *387. 391.
Jute 496.

Kälberkropf 511.
Kälte-Starre 241.
— Widerstandsfähigkeit 139. 140.
Kaffee 537.
Kaffernhirse 418.
Kahmhaut 271.
Kaiserkrone 429.
Kakao 497.
Kalkalgen 367.
Kalkschüppchen 87.
Kallose 60.
Kalmia, Herkogamie *256.
Kalmus 422.
Kalyptra 11. 38. 343.
Kalyptrogen 130.
Kamala 492.
Kamelie 499.
Kamille 547.
Kampf ums Dasein 2.
Kampher 462. 500.
Kandelia Rheedii, Frucht *260.
Kappern 469.
Kapsel 409.
Kapuzinerkresse 486.
— Chromoplasten *55.
Karde 544.
Kardinalpunkte 138. 208.
Karotin 55.
Kartoffel *19. 530.
— -stärke *63.
Kartoffelpilz 303. *304.
Karyokinese 68.
Kastanie 444.
Katalytische Wirkungen 179.
Kätzchen 402.
Kautschuk 62. 67. 182. 447. 491. 522.
Keim *42. 370.
Keimblätter 43. 371.
Keimfähigkeit 261.
Keimkern 77. 378.
Keimpflanze *43.
Keimung 260 ff. 372.
Keimverzug der Samen 261.
Keimzelle 378. 407.
Kelch 395.
Kelchblätter 30. 395.
Kelp 294.
Kerbel 511.
Kern *45.
Kernfaden 52.
Kerngummi 109. 182.
Kernhölzer *108. 109.
Kernkörperchen 52. 70.
Kernpilze 311.
Kernplatte 69.
Kernsaft 52.
Kernsegmente 69.
Kernspindel 70.
Kernteilung 68. *69. 72. 74.
Kernwand 52. 70.
Kickxia 522.
Kiefer 391.
— -holz, Bast etc. *57. *58. *108. *109. *111. *112.
Kieselalgen 275.
Kieselguhr 152. 278. 367.
Kieselkörper 66. 152.
Kieselsäure 61. 152. 276.
Kieselskelet 152.
Kino 483.
Kinoplasma 52. 71. 73.
Kirsche 474.
Kirschlorbeer 474.
Klappertopf s. Alectorolophus.
Klausen 527.
Klebermehl *65.
Klee 481.
Kleeseide *183. 236; s. Cuscuta.

Kleistogame Blüten 253. 501.
Klemmkörperchen (Asclepiadaceen) *523.
Kletterpflanzen 24. 80. 229. 234.
Klinostat 233.
Knautia 544.
KNIGHT's geotropische Versuche 227.
Knoblauch vgl. Lauch.
Knöterich vgl. Polygonum.
Knollen *19. 20.
Knollenblätterschwamm *325.
Knospe 15. 18.
Knospendeckung 31.
Knospenlage *31.
Knospenschuppen 18. 29.
Knospenvariationen 132. 245.
Knoten 17.
Kobaltprobe 166.
Königsfarn 352.
Köpfchen 402.
Körnerplasma 50.
Kohl 468.
Kohlehydrate 50. 68. 174.
Kohlenoxydgas 176.
Kohlensäure, Assimilation 170 ff.
— als Atmungsprodukt 193 ff.
— Wirkung auf Wachstum 176.
Kohlenstoff in Pflanzen 148. 170.
Kohlhernie 269.
Kokken 270.
Kokos 420.
Kola 497.
Kolben 402. 418.
Kollenchym 58. *59. 96. 147.
Kolophonium 391.
Komplementäre chromatische Adaption 173.
Kompaßpflanzen 226.
Koniferen 384.
Koniferin 60. 68. 181.
Konjugaten 279.
Konjugation 266. 279.
Konstanz der Arten 245.
Konstitutionswasser 155. 175.
Kopfschimmel 305.
Kopulation *75. *76. 266.
Korallenschwamm 323.
Korinthe 496.
Kork *120.
Korkcambium 120.
Korkeiche 121. 445.
Korkrinde 120.
Korkstoff 60.
Kormophyten 10. 11.
Kornelkirsche 507.
Kornrade 452.
Korrelationen 201.
Kotyledonen 43. 371. 408.
Kräuter 23.
Krameria 479. *480.
Krankheiten 133. 187.
Kreisende Bewegung der Schlingpflanzen 222. 230.
Kreuzdorn 496.
Kreuzung 252 ff.
Krone 395.
Kronblätter 30.
Krummholzkiefer s. Zwergkiefer.
Krümmungsbewegungen 219 ff.
Kristalldrusen 66.
Kryptogamen 264.
— fossile 366.
Küchenschelle 454.
Küchenzwiebel vgl. Allium.
Kümmel 511.
Kürbis 543.
— Keimlinge 232. *233. 262.
Kugeltriebe 18.
Kurztriebe 17.

Labellum 432. 434.
Labiatae 527.
Laboulbeniaceae 315.
Labiatiflorae (Compos.) 546.
Laboratoriumsluft, Wirkung 221.
Lachnea *310.
Lackmus 330.
Lactarius 325.
Lactuca 546. 550.
Lactucarium 550.
Längsschnitt 12.
Längenwachstum 17.
Lärche 391.
Lärchenschwamm 325.
Lambertsnuß 442.
Lamina 25.
Laminaria, Laminariaceen 289. *290. 291.
Lamium 527.
Landolphia 522.
Langtriebe 17.
Lantana 526.
Laportea 448.
Lappa *544. 546. 550.
Larix 391.
Lastkrümmung 221. 232.
Latente Merkmale 245.
Lateral-Geotropismus 229.
Lathraea 533.
Lathyrus 481.
— Blattranke *36.
Laubblatt *12. 25.
— Metamorphose 35.
— Bau *101.
Laubmoose 340.
Laubsproß 22.
Lauch 427.
Laudatea 332.
Lauraceae 461.
Laurus 461. 462. *463. 551.
Lavandula, Lavendel *526. 528.
Lebensbaum 387.
Lebensbedingungen 136 ff.
Lebensdauer 24. 213.
Lebenserscheinungen 136 ff.
Lebenskraft 5. 137.
Lebensperioden 212.
Leberblume 454.
Lebermoose 10. 335.
Ledum 515.
Legitime Befruchtung 254.
Legumen 409.
Leguminosae 475.
Leguminosenknöllchen 481.
Leimzotten 90.
Leitbündel der Laubmoose 91. *125. 340.
Lemna, Lemnaceae 423.
Lentibulariaceae 536.
Lenticellen *120. 122.
Leocarpus *269.
Leontodon, Öffnen und Schließen der Blütenköpfchen *237.
Leontopodium 546.
Lepidium *466.
Lepidodendreae 368.
Lepidostrobus 368.
Lepiota 325.
Leptom 92.
Leptomin 62. 67.
Leptosporangiate Farne 352.
Leptothrix *8. 270. 272.
Lessonia 291.
Leuchten von Pflanzen 198.
Leuchtgas, Wirkung 221.
Leuchtmoos *138. *198. *344.
Leucin 178.
Leucobryum 341.
Leucojum *429.
Leuconostoc *271. 272.
Leukoplasten 54. *63. 64.
Levisticum 511. 512.
Levkoje 468.
Lianen 24. 80. 116. *117. 118. 229. 234.
— Wasserlianen 161.
Libriformfaser 112.
Lichen islandicus 332.
Lichenes 266. 327. 367.
Licht als Lebensbedingung 138.
— die Assimilation bedingend 172.
— die Bildung von Chlorophyll bedingend 174.
— Einfluß auf Adventivbildungen 200.
— -Wachstum 209.
— als Ursache von Heliotaxis 216.
— von Heliotropismus 233.
— hygienische Bedeutung 224.
— Einfluß auf Keimung 261.

Lichtwechsel als Bewegungsreiz 236. 239.
Licmophora *276.
Liebstoeckel 511.
Lignin 60.
Lignum Guajaci 487.
— Haematoxyli 479.
— Juniperi 391.
— Quassiae 489.
— Santali rubrum 483.
— Sassafras 462.
Ligula der Gräser 29. 415.
— der Selaginellen 363.
— von Isoëtes 366
Liguliflorae (Compos.) 546.
Ligustrum 519.
Liliaceae 424.
Lilie vgl. Lilium.
Liliiflorae 424.
Lilium 427.
— Kernspindel *71.
— Befruchtung *407.
Limnanthemum 521.
Limodorum 435.
Limone vgl. Citrus.
Linaceae 486.
Linaria 533.
— cymbalaria 226. 260.
Linde 496.
— Anatomie *114.
Linin 52. 69.
Linkswinder *230. 231.
Linse 481.
Linum *485. 486.
Liquidambar 470.
Liriodendron 460.
Lobelia, Lobeliaceae 541. *542.
Loculicid 409.
Lodiculae 416.
Löcherschwämme 323.
Löffelkraut 468.
Löwenmaul s. Antirrhinum.
Loganiaceae 519.
Lohblüte 268.
Lolium *417. 418.
Lonicera 540.
Lophospermum, Blattstielranken *236.
lophotrich 271.
Loranthaceae, Loranthus 513.
Lorbeer 461.
Lorchel 311.
Loteae, Lotus *481.
Lotosblume vgl. Nelumbium.
Luftspalten 87. *164 ff. 177.
Luftströmungen s. Wind.
Luftverdünnung im Holzkörper 162.
Luftwurzeln 38. 40. 99.
Lunaria *466. 468.
Lungenkraut 525.
Lupinus 480.
— Keimling *147.
Lupulinum 90. 448.
Luxuriierendes Wachstum 257.
Luzula 424.
Lychnis 452.
Lycoperdon *326.
Lycopersicum 530.
Lycopodiaceen 362.
— Verzweigung *15.
Lycopodinen 361. 367.
Lycopodium *347. *361. *362. 368.
Lysigene Intercellularen 81.
Lysimachia 517.
Lythraceae, Lythrum 503.

Maceration 82.
Macis 460.
Macrocystis *290.
Magnolia, Magnoliaceae 460.
Maiblumen *25.
Maiglöckchen *25. 428.
Mairan s. Origanum.
Mais 418.
Maja compacta *170.
Majanthemum 428.
Makrosporangium 348. 369.
Makrospore 348. 369.
Makrosporophyll 370.
Malakophilie 252.
Mallotus 492.
Maltum (Malz) 418.
Malva, Malvaceae 497. 498. *499.
Mamillaria 502.
Mandarine 488.
Mandel 474.
Mangifera 493.
Mangostane 499.
Mangrove 40. 505.
— xerophil 170.
— Aussaat *260.
Manihot, Maniok 491.
Manna 519.
Mannit 294.
Mantelblätter 28.
Maranta, Marantaceae 433.
Marattiaceen 352. 367.
Marchantia *124. *332. *333. *336. *337.
Marchantiaceen 336.
Mark 97. 98.
Markstrahlen 99. 106. *114. 115.
Marrubium 527.
Marsdenia 523.
Marsilia, Marsiliaceen 354. *355. 367.
Maser, Maserbildung 123.
Massula 357.
Mastix 493.
Mate 493.
Matricaria *544. 547. *549.
Matthiola 468.
Maulbeerbaum 446.
Mäuseschwanz 455.
Maximum 138. 208.
Mechanische Gewebe 144. *145.
— Reize 200. 210. 216. 234. 240.
Meconopsis 464.
Medicago 481.
Meersalat 284.
Meerzwiebel 427.
Mehltau 304. 308.
Melaleuca 506.
Melampyrum 533.
Melanthieae 424.
Melastomaceae 503.
Melica 418.
Melilotus 481. 483.
Melissa *527. 528.
Melone 541.
Melonenbaum 502.
Melosira 278.
Membran 55.
— -Stoffe 59.
Menispermaceae 460.
Mentha 527. 528.
Mentholum 528.
Menyanthes 520. 521.
Mercurialis 489. *490.
— Epidermis *84.
Meristeme 83. 126.
Merk 511.
Merogonie 249.
Merulius 324.
Mesocarp 408.
Mesophyll 100.
Mespilus 472.
Mestom 92.
Metamorphose 7. 11.
Metaphasen 71.
Metaplasie 134.
Metaplasma 50.
Metroxylon 421.
Metzgeria 338.
— Scheitelzelle *126.
Micelle 205.
Mikrasterias *279.
Mikrococcus *8. 270. *273.
Mikrocyste 268.
Mikropyle 370.
Mikrosomen 51.
Mikrosporangium 348. 372.
Mikrosporen 348. 372. 404.
Mikrosporophyll 372. 395.
Milchröhren *62.
Milchgefäße *79.
Milchsaft 82. 182.
Milchsäurebacillus *272.
Milzbrandbacillus *273.
Mimosa 476.
— Bewegungen *240.
Mimosaceae 476.
Mimusops 516.
Mineralstoffe im Plasma 50.
— in Pflanzen 149 ff. 177.
Minimum 138. 208.
Minze s. Mentha.

Mispel 472.
Mißbildungen 132.
Mistel *78. 513.
Mitose 68.
Mittellamelle 82.
Mittelständiger Fruchtknoten 399.
Mnium 340. *343. *344.
— Stengelquerschnitt *125.
Möhre 511.
— Farbkörper *55.
Mohn 465.
Mohrhirse 418.
Molecularstruktur 205.
Molinia *145.
Mondraute 352.
Monoblepharis, Monoblepharideen 302. *303.
Monochasium 403.
Monokotylen 407. 411.
Monöcisch 253. 375.
Monopodiale Verzweigung 13. 401.
Monopodium 13.
Monopleurisch 105. 118. 120.
Monosymmetrisch 12.
Monotropa 515.
Monotrich 271.
Monstera 421.
Monstrositäten 133.
Mooskapsel 334.
Moospflanzen 332.
Moraceae 446.
Morchella *307. *311.
Morchelpilze 307. 311.
Morin 110.
Morphium 465.
Morphologie 5. 6. 7. 45.
Morus 446.
Mosaikbastarde 256.
Mucilago Cydoniae 474.
Mucor 305. *306.
Mucorineae 306.
Mucuna, Stammquerschnitt *117.
Multilateral 12.
Musa, Musaceae 432.
Muscari 427.
Musci 340.
Muscineen 332.
Muskatnuß 460.
Mutation 3. 132. 245.
Mutisieae 545. 546.
Mutterkorn *81. 312.
Mycelium 300.
Mycetozoa 267.
Mykorrhiza 185.
Myosotis 525.
Myosurus 455.
Myrica, Myricaceae 440.
Myriophyllum 505.
Myristica, Myristicaceae *459. 460.
Myrmecodia *189. 538.
Myrmecophyten *188. *189.
Myrobalanen 505.
Myrosin 63.
Myroxylon 480. *482.
Myrrha 489.
Myrsiphyllum, Rechtswinder *231.
Myrtaceae, Myrtiflorae 503. 505.
Myrte, Myrtus 505.
Myxamöben *48. 268.
Myxomyceten 267. 367.
— Plasmodien *48.

Nabel 371.
Nachtstellung der Blätter 237. 238 ff.
Nachwirkungen 211. 239.
Nadelhölzer 384.
Nägelchen 505.
Nährgewebe 371.
Nährlösungen 151 ff.
Nährstoffe 149 ff.
Nährwasser 156.
Nährwurzeln 40.
Najadaceae, Najas 413.
Narbe 398.
Narcissus 429.
Natterkopf 525.
Natternzunge 352.
Navicula *277.
Nebenblätter 25. 29.
Nebenzellen 86.
Nebenwurzeln 38. 39.
— an konvexen Flanken *147.
Neckera 345.
Nekrose 134.
Nektarien 90. 168. 189. 399.
Nelke 452.
Nelumbium 453.
Neottia 435.
Nepenthes *35. 469.
— Tierfang *191.
Nepeta 527.
Nerium 521. *522.
Nervatur 27. 91. *165. 411. 437.
Nessel 448.
Nestwurz 435.
Netzgefäß 80.
Nicotiana *531. 532. 533.
Niederblätter 25. 29.
Nischenblätter 28.
Nitella 298.
— Turgordehnung *142.
Nitratbakterien 150. 174. 195. *274.
Nitrate im Zellsaft 68.
Nitrification 150.
Nitritbakterien 150. 174. 195. *274.
Nitrobakter *274.
Nitrosomonas 150. *274.
Nitzschia 278.
Nodi 17.
Nolanaceen 528.
Nopalea 503.
Nostoc *275.
— endophytisch 188. 275. 338. 356.
Nucellus 369.
Nucleïne 50.
Nucleoli 52. 70.
Nucleus (Zellkern) *45.
Nuß 409.
Nutationen 221.
Nux 409.
Nyktitropische Bewegungen *237. *239. *240.
Nymphaea, Nymphaeaceae 452. *453.

Obdiplostemon 400.
Oberblatt 25.
Oberhaut (Epidermis) *83. 97.
Oberständiger Fruchtknoten 398.
Ochsenauge 525.
Ochrea 29. *449.
Ocimum 527.
Odontites 533.
Odontospermum 547.
Oedogonium *285. 286.
Ökologie 135. 182.
Ölbaum 518. *519.
Öle 67.
— ätherische 181.
— Vgl. auch Oleum.
Ölgänge 81.
Ölkörper bei Lebermoosen 337.
Ölpalme 421.
Ölstriemen 510.
Oenanthe *509. 511.
Oenothera *504. 505.
Oidium 309.
Okulieren *203. 204.
Olea, Oleaceae 518. *519.
Oleander 521. *522.
Oleum Anisi 512.
— Amygdalarum 475.
— Aurantii corticis 489.
— Aurantii florum 489.
— Bergamottae 489.
— Cacao 497.
— cadinum 391.
— Cajuputi 506.
— Calami 423.
— Carvi 512.
— Caryophyllorum 506.
— Cassiae 462.
— Chamomillae 550.
— Cinnamomi 462.
— Citri 489.
— Crotonis 492.
— Foeniculi 512.
— Juniperi 391.
— Lauri 462.
— Lavandulae 528.
— Lini 486.
— Macidis 460.
— Menthae 528.

Oleum Nucistae 460.
— Olivarum 519.
— Papaveris 465.
— Pini Pumilionis 391.
— Ricini 492.
— Rosae 474.
— Rosmarini 528.
— Rusci 442.
— Santali 513.
— Sinapis 468.
— Terebinthinae 391.
— Thymi 528.
— Valerianae 541.
Olibanum 489.
Olive s. Ölbaum.
Onagraceae 503.
Onoclea, Spermatozoid *75. 350.
Ononis 481. 483.
Ontogenie 1. 6. 41. 125. 131.
Oogamie 266. 281.
Oogonien 281.
Oomyceten 302.
Oosphäre 266.
Oospore 266.
Opalisieren 198.
Ophioglossaceen, Ophioglossum 352.
Ophrys 435.
Opium 181. 465.
Optimum 138. 208. 216. 226.
Opuntia 502.
— Flachsprosse *21.
Opuntinae 502.
Orchidaceae 433.
Orchis *434. *435. 436.
— Knolle *39.
Organe 7.
Organographie 7.
Orientierungsbewegungen des Plasmas 217.
Orientierungstorsionen 229.
Origanum 528.
Ornithogalum *426. 427.
— Endosperm *58.
Ornithophilie 252.
Ornithocercus *278.
Orobanchaceae, Orobanche 184. 534. *535.
Orseille 330.
Orthostichen 33.
Orthotrop 222.
Oryza *417. 418.
Oscillaria *275.
Osmose s. Diosmose.
Osmotaxis 216.
Osmunda, Osmundaceen *352.
Osterluzei, Bestäubungseinrichtung *255.
Ourouparia 537. 539.
Oxalidaceae, Oxalis 486.
Oxalsäure 68.
— bei Eiweißbildung 177.
Oxalsaurer Kalk 61. 63. 66. 177.
Oxydasen 179.

Paeonia 457.
— Blüte *30.
Palaquium *516.
Palea 349.
— inferior, — superior 416.
Paleae haemostaticae 354.
Palisadenzellen 101.
Palmae, Palmen 418. 551.
Palmentypus der Gefäßbündel *103.
Palmöl 421.
Palmwein 160. 421.
Pangium, Blausäure 181.
Pandanaceae, Pandanus 418.
Panicula 402.
Panicum 418.
Papaver, Papaveraceae 464. *465.
Papayotin 502.
Papilionaceae 479.
Papillen *86. 87.
Pappel *440.
Pappus 540. 545.
Papyrus 415.
Paraguaytee 493.
Paraphysen 311. 321.
Parasiten 21. 41. 132. 182. *183. 512.
Parasolschwamm 325.
Parastichen 33.
Paratonische Krümmungen 222. 238.
Parenchym 82.
Paris 428. *429.
Parnassia 470.
Paronychieae 452.
Parthenokarpe Früchte 201.
Parthenogenesis 77. 248. 300.
Passiflora, Passifloraceae 502.
Passiflorinae 502.
Passionsblume 502.
Pastinaca, Pastinak 511.
Pathogene Bakterien 272.
Paullinia 494.
Payena 516.
Pediastrum *282.
Pedicularis 533.
Peireskia 502.
Pektinstoffe 60. 82.
Pelargonium *485. 486.
Pellia 338.
Pelorie 401.
Penawar Djambi 354.
Pennatae 276.
Penicillium *309.
pentacyclisch 399.
Peperomia 437.
Pepsin 50.
Pepton 150. 188.
Peptonisierende Fermente s. Enzyme.
Perennierende Pflanzen 24.
Perianth 338. 394.
Periblem 129.
Pericambium 100.

Perichaetium 341.
Pericykel 98. 100. 118.
Periderma 119. 120.
Peridermium 321.
Peridie 319. 325.
Peridineae, Peridinium *278.
Peridium 268.
Perigon 395.
Perigyn 399.
Perikarp 408.
Periklinen 128.
Perinium 357.
Periodicität 211.
Periphysen 311.
Periplasma 348.
Perisperm 371.
Perisporiaceen, Perisporieen 308. 309.
Peristom *343.
Perithecium 308. 311. *312. 329.
Peritrich 271.
Permeabilität 141. 154.
Peronospora, Peronosporeen 303. *305.
Persea *462.
Personatae 528.
Petasites, Pestwurz 548.
Petersilie 511.
Petiolus 25.
Petroselinum 511. 512.
Petunia *529.
Peziza *310.
Pfaffenhütchen 493.
Pfahlwurzel 39.
Pfeffer 437. *438.
Pfeifengras, Festigungselemente *145.
Pfifferling 325.
Pfirsich 474.
Pflaume 474.
Pfropfen *203. 204.
Pfropfhybride 204. 257.
Phaeophyceen 289.
Phaeosporeen 291.
Phajus, Leucoplasten *63.
Phalloideen, Phallus *326. 327.
Phanerogamen 369.
— Befruchtung *76. *378. *382. *407.
Pharbitis, linkswindend *230.
Phascaceae, Phascum *334. 343.
Phasen des Wachstums 199.
Phaseoleae, Phaseolus 481.
— Stärke *63.
Phelloderma 120.
Phellogen 120.
Phellonsäure 60.
Philadelphus 470.
Phleum 418.
Phloëm 92.
Phloeoterma 97.
Phlomis 527.

Phlox 524.
Phoenix 420.
Phormium, Blattquerschnitt *145.
Phosphate 68. 150. 177.
Phosphoreszieren von Pflanzen 198.
Photometrie 226.
Photosynthese 172.
Phototaxis 216.
Phycocyan 54. 274.
Phycoerythrin 54. 294.
Phycomyceten 301. 302.
Phycophaein 54. 291.
Phyllocactus 503.
Phyllocladien 20. *21. *231.
Phyllodien 37. *44. *168. 169.
Phylogenet. System 437.
Phylogenie 1. 6. 123. 131.
Physalis *410.
Physikalische Eigenschaften 136.
Physiologie 5. 134.
Physoden 51.
Physostigma, Physostigminum 481. 483.
Phytelephas 421.
— veget. Elfenbein 61. 421.
— Plasmodesmen *78.
Phyteuma 541.
Phytopathologie 133.
Phytophthora 303. *304.
Phytoteratologie 133.
Phytotomie 7.
Picea *377. *389.
Picrasma 489.
Pilobolus 306.
Pilocarpin 489.
Pilocarpus 489.
Pilostyles, Schmarotzertum 184.
Pilularia *355.
Pilze 265.
— bei Mykorrhiza 185.
— Leuchten 198.
Pilztiere 267.
Pimpinella *510. 511. 512.
Pinaceae 385.
Pinguicula 536.
— Tierfang 191.
Pinie 391.
Pinnularia *8.
Pinselschimmel 309.
Pinus *376 ff. *390. 391.
— Hoftüpfel *57.
— Siebröhren *57.
— Bast *108.
— Holz *108. *109.
Piper 437. *438.
Piperaceae 437.
Piperinae 437.
Pirola, Pirolaceae 515.
Pirus *471. *472.
— Peridermbildung *120.
Pistacia 493.
Pisum 481.
— Blattranken *36.
Pix liquida 391. 445.
Placenta 370. 397.
Plagiochila *10. *339.
Plagiotrop 222.
Plankenwurzeln *146. 147.
Plankton 278.
Planktoniella 277.
Planogameten 281.
Plantaginaceae, Plantago *535. 536.
— Protogynie *253.
Plasmodesmen *77.
Plasmodiophora 269.
Plasmodium *48. 49. 80. 267.
Plasmolyse 61. *142.
Plasmopara 304. 305.
Platanaceae, Platanus 470.
Platanthera 435.
Platterbse 481.
Plectridium *272.
Pleiochasium 403.
Plerom 129.
Pleurocarpae 345.
Pleurosigma 278.
Plumbaginaceae 517.
Plumula 372.
Pneumatophoren *197. 198.
Poa 418.
Podalyrieae 480.
Podetien 330.
Podophyllum, Podophyllinum *460.
Podospora *312.
Podostemonaceae 469.
Polarität 201.
Polarweide *171.
Polemoniaceae, Polemonium 524.
Polkappen 69.
Pollen-Übertragung 250 ff.
— -Tauglichkeit 250.
Pollenkammer 382. *383.
Pollenkörner 77. 372. *396
Pollenmutterzelle *71. 373.
Pollensack 372.
Pollenschlauch *76. 77. 373.
— Austrittsstellen *396.
Pollinium *523.
Pollinarium *434. 436.
Polstergewächse *167. 169. *170.
Polycarpicae 452.
Polyembryonie 247. *248.
Polygala, Polygalaceae *488. 489.
Polygam 474.
Polygonaceae 449.
Polygonatum 428.
— Rhizom *19.
— Blattnervatur *411.
Polygonum *449.
— Embryosackentw. 405.
Polypodiaceae, Polypodium 349. 351. 352. *353.
Polyporeen 323.
Polyporus *323.
Polytomie 14.
Polytrichum 341. 343. *344.
Pomeranze 488.
Pompelmus 488.
Populus *440,
— Knospe *31.
Poricid 409.
Porogamie 405.
Porst 515.
Potamogeton, Potamogetonaceae *412. 413.
Potentilla *471. 474.
Poterium 474.
Prähaustorien 184.
Preißelbeere 515.
Primordialblatt 25.
Primordialschlauch 47.
Primula *517.
— Drüsenhaare *88.
— Heterostylie *254.
Primulaceae, Primulinae 516. 517.
Procambiumstränge 95.
Proëmbryo 379.
Profilstellung 218.
Prophasen 71.
Prosenchyme 82.
Protandrie 254.
Proteïnsubstanzen 49. 62.
— Synthese 177.
Protandrisch 254.
Proterogyn *253. 254.
Prothallienzellen, vegetative 377. 405.
Prothallium 346. 353. 370. 404.
Protobasidien 316.
Protococcoideae 281.
Protogynie *253. 254.
Protonema 333. *334. 340.
Protophloëm 95.
Protoplasma 1. 46. *48. 49.
Protoplasmaeinschlüsse 63.
Protoplast 46.
Protosiphon 286. *287.
Protoxylem 95.
Prunus *471. 474. *475.
— Knospenschuppen *28.
Psalliota *323. 324.
— Zellkerne *52.
Pseudoparenchym 300.
Pseudoperianth 33.
Pseudopodium 342.
Psidium 505.
Pteridophyten 11. 345. 367.
Pteris *346. *347. 352.
— Treppengefäß *79.
— Gefäßbündelcylinder *94.
— Rhizom *347.
— Vegetationspunkt der Wurzel *128.
Pterocarpus 483.
Puccinia 318. *319.
Pulmonaria 525.

Pulpa cassiae fistulae 479.
— prunorum 475.
— Tamarindorum 479.
Pulque 160. 430.
Pulu 354.
Punica, Punicaceae *506
Purinderivate 181.
Pykniden *312. *320
Pyknosporen 312. 320.
Pyknoconidien 312. 320.
Pyrenoide 280.
Pyrenomyceten 311.
Pyronema *310.
Pythium 305.
Pyxidium 409.

Quassia *487. 489.
Quellstifte 294.
Quellung 153. 205.
Quellungskrümmungen 220.
Quendel 527.
Quercus 444. *445. 551.
— Borke *121.
Querschnitt 12.
Quillaja 471. *472.
Quirl 32.
Quitte 472.

Racemös *402.
Radiär 12. 400.
Radicula 43. 379.
Radieschen 468.
Radix Althaeae 499.
— Angelicae 512.
— Arnicae 549.
— Bardanae 550.
— Belladonnae 532.
— Colombo 461.
— Gentianae 521.
— Gelsemii 519.
— Ipecacuanhae 538.
— Levistici 512.
— Liquiritiae 483.
— Ononidis 483.
— Pimpinellae 512.
— Pyrethri 550.
— Ratanhiae 479.
— Rheï 449.
— Sarsaparillae 429.
— Senegae 489.
— Taraxaci 550.
— Valerianae 541.
Rafflesia, Rafflesiaceae 184. 514.
Ramie 448.
Ramondia 535.
Ranken 21. 37. *234. *236.
Rankenplatterbse *36.
Ranunculaceae 453.
Ranunculus *454. *455.
— aquatilis, Heterophyllie *26.
— Gefäßbündel *93.
Raoulia *167. 547.
Raphanus 468.
Raphe 276. 370.
Raphiden *66.
Raps 468.
Raute 487.
Receptaculum 351. 398.
Recessive Merkmale 245.
Rechtswinder *231.
Rectipetal 233.
Recurrens-Spirillum 274.
Reduktion 36.
Reduziert 7.
Regenerationen 45. 201.
Reis *417.
Reizbare Pflanzen 240.
Reizbarkeit 4. 137. 223. 240.
Reizbewegungen s. Paratonische Bewegungen.
Reize s. Reizbarkeit.
Reizker 325.
Reizwirkungen s. Reizbarkeit.
Renntierflechte 331.
Resedaceae, Reseda 469.
— Vielzellbildung *74.
Reservestoffe 63. 180.
Resina Guajaci 487.
— Jalapae 524.
Rettich 468.
Rhabarber 449.
Rhabdonema 277.
Rhamnaceae, Rhamnus *495. 496.
Rheotaxis 216.
Rheotropismus 233.
Rheum *449.
Rhinantheae, Rhinanthus 184. 533.
Rhipsalis 503.
Rhizinen 329.
Rhizobium 185. 274.
Rhizoiden 11. 334. 341.
Rhizom 18. *19.
Rhizoma Calami 423.
— Filicis 354.
— Galangae 433.
— Graminis 418.
— Hydrastis 457.
— Imperatoriae 512.
— Iridis 430.
— Rheï 449.
— Tormentillae 475.
— Veratri 429.
— Zedoariae 433.
— Zingiberis 433.
Rhizomorpha *322.
— Leuchten 198.
Rhizophora, Rhizophoraceae *504. 505.
Rhizopus *305.
— flutende Bewegung *219.
Rhododendron 515.
Rhodomela 298.
Rhodophyceen 294.
Rhodoreae 515.
Rhoeadinae 464.
Rhus 493.
Ribes *470.
Riccia, Ricciaceen *10. *335.
Richardia 422.
Richtungsbewegungen 218 ff.
Ricinus 491. *492.
— Aleuron *65.
Riedgras 413.
Rinde 97.
Rindengrenze 97.
Rindenporen *120. 122.
Ringelborke 122.
Ringelblume 549.
Ringelschnitt 178.
Ringgefäß 80.
Rispe *402.
Robinia 481.
— Blattdornen *36.
— Thyllen *108.
Roccella 330.
Roestelia 321.
Roggen *416. 417.
Rohr-(Stuhl) 421.
Rohrzucker 67. 418. 421. 449.
Rollung *146. 147.
Rosa *471. 472.
Rosaceae, Rosiflorae 470.
Rose von Jericho 547.
Rosmarinus 528.
Roßkastanie 494.
Rostellum 436.
Rostpilze 318.
Rotang vgl. Rohr.
Rotation des Protoplasmas 51. 217.
Rotalgen 294.
Rotbuche 443.
— Knospen *18.
Rotdorn 472.
Rottanne 389.
Rotierende Bewegung der Schlingpflanzen 222. 230.
Rozites 325.
Rubia 538.
Rubiaceae, Rubiinae 536.
Rubus *474.
Rudimentär 7.
Rübe
— Teltower 468.
Rübsen 468.
Rückschlag 132. 245.
Rüster *446.
Ruheperioden 212 ff.
— der Samen 260.
Rumex 449.
— ruminiertes Endosperm 420. *459.
Ruppia 413.
Ruscus, Cladodien *21.
Russula *321. 325.
Ruta *487.
Rutaceae 487.

Sabadilla 429.
Saccamina, Pollen verzehrend 251.

Saccharomyces 315.
— Gestalt *8.
Saccharomycetes 315.
Saccharose 68.
Saccharum 418. 449.
— Wachsüberzug *83.
Sadebaum 387. 391.
Säulenfestigkeit 146.
Säuren im Zellsaft 68.
Safran *430.
Saftfäden 311. 321.
Saftraum *47. 205.
Saftsteigen 161 ff.
Sagittaria *412. 413.
Sago 421.
Saison-Dimorphismus 212. 519. 533.
Salat 546.
Salbei 527.
Salep 436.
Salicaceae 440.
Salicornia *151.
Salix *440. 441.
— polaris *171.
Salomonsiegel 19. *20.
Salpeterbakterien *274.
Salvia *526. 527. 528.
— Bestäubung *255.
Salvinia, Salviniaceen 354. *355. *356. *357. 367.
Salzpflanzen *151. 152.
Sambucus *540.
— Festigung *145.
— Lenticelle *120.
Samen 43. 371.
— Verbreitung 257 ff.
— Keimung 260.
— Ruhe 261.
Samenanlage 369.
— dorsal, — ventral 398.
Samenlose Früchte 201.
Samenmantel *371.
Samennaht 370.
Samenpflanzen 264. 371.
Samenschale 43. 371.
Sammelfrucht 408.
Samolus, Deckblätter *17.
Sandelholz s. Santalum.
Sanguisorba 471. 474.
Sanicula 510.
Santalaceae, Santalum 513.
Santalin 110.
Santoninum 549.
Sapindaceae, Sapindinae 492. 494.
Saponaria *452.
Saponin 68.
Sapotaceae 516.
Saprolegnia, Saprolegnieen *303. *304.
Saprophyten 182 ff. 185.
Saprogene Bakterien 272.
Sarcina 274.
Sarcocaulon *167.
Sargassum 291.
Sarothamnus 480.
Sarracenia, Tierfang 191. 469.
Sassafras 461. *462.
Satanspilz 324.
Satureja 527.
Saubohne 481.
Sauerampfer 449.
Sauerklee 486.
Sauerstoff in Pflanzen 148.
— bei Atmung verbraucht 193.
— als Nebenprodukt der Assimilation 175. 176.
Saugkraft transpirierender Sprosse 163.
Saugscheibenranken *235.
Saugwurzeln 41.
Saxifraga, Saxifragaceae, Saxifraginae 469. 470.
Scabiosa 544.
Scammonium 524.
Scandix 511.
Scenedesmus *282.
Schachtelhalme 358.
Schafgarbe 547.
Scharniere 86.
Schattenblätter 210.
Schattenpflanzen 139.
— Atmung 192.
Schauapparate 251. 395.
Scheibenpilze 309.
Scheide 28.
Scheidewände 82.
— echte, — falsche 397.
Scheinfrucht *410.
Scheinparenchym 300.
Scheitel 8. 126.
Scheitelwachstum 14.
Scheitelzellen 126.
Scherende Kräfte 146.
Schierling 511.
Schistostega *138. *198. *344. 345.
Schizaeaceen 352.
Schizocarpae 342.
Schizocarpium 409.
Schizogene Intercellularen 81.
Schizomycetes 270.
Schizonema 276.
Schizophyceen 274.
Schizophyta 274.
Schlafbewegungen *237. *239. *240.
Schlauchalgen 286.
Schlauchpilze 301. 307.
Schleim 61. 67. 85.
Schleimpilze 267.
Schleimröhren 79.
Schleudern 338.
Schließbewegung, autonome 237.
Schließfrucht 409.
Schließhaut 57.
Schließzellen 85.
— Funktion 164 ff.
Schlingpflanzen 24. 229 ff.
Schmarotzer 41. 132. 182. *183.
Schmetterlingsblüte 480.
Schnecken als Befruchtungsvermittler 252.
Schneckenklee 481.
Schneeball 539.
Schneeglöckchen 429.
Schnittlauch vgl. Lauch.
Schöllkraut 464.
Schönocaulon 429.
Schote 409.
Schrägzeilen 33.
Schraubel *13. 403.
Schraubengefäß 80.
Schreckfarben 181.
Schriftflechte 330.
Schubfestigkeit *145. 146.
Schuppenborke 122.
Schuppenwurz 533.
Schutzstoffe 187.
Schwämme 321.
Schwammparenchym 101.
Schwärmsporen *48. *75. 268. 281.
Schwarzkiefer 391.
Schwarzwurzel 546.
Schwefel in Bakterien 67.
Schwefelbakterien 272.
Schwefelregen 250.
Schwellkörper 416.
Schwellwasser 205.
Schwerkraft als Reiz 136. 200. 227 ff.
Schwertlilie s. Iris.
Schwimmblätter *26. 28.
Scilla 427.
Scirpus 413. *414.
Scitamineae 432.
Scleranthus 452.
Scleroderma *326.
Scleropora 305.
Scolopendrium 349. *351. 352.
Scopolaminum, Scopolia 533.
Scorzonera 546.
— Milchsaftgefäße *79.
Scrophularia, Scrophulariaceae 533.
Scutellaria *400.
Scutellum *415. 417.
Scytonema 332.
Secale *416. 417. 418.
Secale cornutum 312.
Sedum *469.
Seegras 413.
Seerose 453.
Seestrandskiefer 391.
Seidelbast s. Daphne.
Seifenkraut s. Saponaria.
Seitenwurzeln 38. 39. 131.
Sekretbehälter 81.
Selaginella 363. *364. *365.
Selaginellaceen 363.

Selbstbefruchtung 252.
Selbstbestäubung 252.
Selbststerile Blüten 252.
Selektionstheorie 2.
Sellerie 511.
Semen Arecae 421.
— Calabar 483.
— Colchici 429.
— Cydoniae 474.
— Erucae 468.
— Foenu graeci 483.
— Lini 486.
— Myristicae 460.
— Papaveris 465.
— Quercus 445.
— Sabadillae 429.
— Sinapis 468.
— Stramonii 533.
— Strophanthi 522.
— Strychni 519.
Sempervivum 469.
Senecio, Senecioneae 547.
Senf 468.
— Keimling, heliotropisch *224.
septicid 409.
Sequoia 389. 394.
Serjania, Dickenwachstum *117.
Seta 343.
Sexualität 243. 249 ff.
Sexualsystem 263.
Sexualzellen, Vereinigung 249 ff.
Sexuelle Affinität 257.
— Fortpflanzung 243. 249 ff.
Shorea 500.
Sicyos, Ranke *234.
Siebplatten 58. 77. *78.
Siebröhren 77. *78. 92. 113.
Siebteil 92.
Siebtüpfel *58.
Sigillarieen 367.
Silene *451. 452.
Silicium 152.
Siliqua 409.
Simarubaceae 489.
Simse 413.
Sinapis 468.
— heliotrop. Keimpflanze *224.
Sinnpflanze *240. 276.
Siphoneen 286. 367.
Siphonogamen 373.
Sisymbrium *466.
Sium *509. 511.
Skelett 102.
Skelettgewebe 144. *145.
Sklereïden 63. 96.
Sklerenchymfasern *56. *62. 96.
Sklerotien 49. *81. 268. 300. 312.
Smilax 428. 429. 551.
Solanaceae 529.
Solanin 68.
Solanum *529. 530. 533.
— Knollen *19.
— Stärke *63.
Solidago 546.
Somatische Zellen 213.
Sonchus 546.
Sonnenblume 547.
Sonnenröschen 500.
Sophoreae 480.
Sorbus *471. 472.
Soredien 329.
Sorghum 418.
Sorus 351.
Spadiciflorae 418.
Spadix 418.
Spätholz 108.
Spaltalgen 274.
Spaltfrucht *409.
Spaltöffnungen *85. 125. *164.
— Funktion 164 ff. 176.
Spaltpflanzen 274.
Spaltpilze 270.
Spanischer Pfeffer 532.
Spannungsfestigung 147.
Sparassis 323.
Sparganiaceae 418.
Spargel 428.
Sparteïnum 483.
Spartium 481. 483.
Spatha 420.
Speicherung von Stoffen 154. 180.
Speiteufel 325.
Spelt *416. 417.
Spelzen 413.
Spergula 452.
Spermakern 77.
Spermaphyten 264. 371.
Spermatangien 295.
Spermatien 296. 315. 331.
Spermatogene Zelle 377. 381.
Spermatozoiden *75. 76. 266. *382.
Spermogonien *331.
Sphacelia 312.
Sphaerella *282. 283.
Sphaeria 312.
Sphaerothallia 330.
Sphaerotheca 308. *309.
Sphagnaceen, Sphagnum *340. *341. 342.
Sphenophyllinae 368.
Sphenophyllum 368.
Spica 402.
Spilanthes 550.
Spinacia, Spinat 449.
Spindelfasern 70.
Spiraea, Spiraeeae *471.
Spiraltheorie 34.
Spirillum *8. *270.
Spirochaete *8. 270. 274.
Spirogyra *280.
— Zellteilung *73.
Splachnum 343.
Splint, Splinthölzer 109.
Spontane Bewegungen 221 238.
Sporangien 281. 301. 347.
Sporen 42. 264. 266. 347.
Sporenmutterzellen 71.
Sporenpflanzen 264.
Sporensack 345.
Sporenschlauch *307.
Sporocarpien 354.
Sporodinia 307.
Sporogenes Gewebe 372.
Sporogon 334.
Sporophyll 347. 369.
Sporophyt 297. 346.
Sporophyten 264.
Spreuschuppen 89. 349.
Spritzgurke 259.
Sproß 14.
Sproßanlagen 15. 130.
Sproßdornen *22.
Sproßfolge 22.
Sproßmetamorphose 18.
Sproßpilze 315.
Sproßpol 202.
Sproßranken 21. *22. 37.
Sproßscheitel *14.
Sprossung 76. 246.
Stabilität 147.
Stacheln 41. 89.
Stachelbeere 470.
Stachelschwämme 323.
Stachys 527.
Stärke 65.
— corrodierte *179.
— transitorische 180.
Stärkebildner *63. 64.
Stärkemehl 65.
Stärkescheide 97.
Stamen, Stamina 372.
Staminodien 396.
Stamm 11.
Stammdornen *22.
Stammglieder 17.
Stangeria 381.
Stapelia 523.
Staphylococcus *273.
Starrezustände 241.
Starrkrampfbacillus *273.
Statice 517.
Statolithenhypothese 223.
Staubbeutel, Öffnen 220.
Staubblatt 30. 372. 395.
Staubbrand 317.
Stauden 19. 23.
Stechapfel 532.
Stechpalme 493.
Stecklinge 203.
Stegocarpae 343.
Steinbrand 318.
Steinbrech 470.
Steineiche, Borke *121.
Steinfrucht 410.
Steinklee 481.
Steinkohle 171.
Steinpilz 323.
Steinzellen *81. 144.

Stele 97.
Stellaria 452.
Stellatae 538.
Stelzwurzeln 40.
Stemonitis *269.
Stempel s. Fruchtknoten.
Stengelglieder 17.
Stengel-Struktur 97.
Sterculia, Wurzelplanken *146.
Sterculiaceae 497.
Stereïden 62.
Stereome 144. *145.
Stereotaxis 216.
Stereum 322.
Sterigmen 316.
Sterile Früchte und Samen 201.
Stern-Anis 460.
Stickstoff in Pflanzen 150. 190.
Stickstoffbinder 150.
Stiefmütterchen *148. 501.
— Zotte *86.
Stigma 398.
Stigmatomyces *315.
Stinkbrand 318.
Stinkmorchel 327.
Stipulae 25. 29.
Stockausschlag 16.
Stoffaufnahme in Pflanzen 153 ff.
Stoffumwandlungen154.177.
Stoffwanderung 178.
Stolonen 20.
Stomata *85.
Stoppelschwamm *322.
Stoßreize 216. 234. 240.
Sträucher 23.
Strahlige Blüten 400.
Stratiotes 413.
Straußfarn 350.
Streckung der Organe 204 ff.
Streptocarpus 535.
Streptochaeta 417.
Streptococcus *273.
Strickeria, Pyknide *312.
Striemen 81.
Strobilus Lupuli 448.
Strohblume s. Immortellen.
Stroma 312.
Strophantus *521. 522.
Struthiopteris *75. 350.
Strychnos 519. *520.
Stützblatt 15.
Stylus 398.
Styracaceae, Styrax 516.
Styrax liquidus 470.
Suberin 60.
Succisa *544.
Succulente 152. 169. *170. 469. 489. 502. 523.
Succulenz 152. 169.
Succus Sambuci 540.
Sulfate 68.
Sultaninen 201.
Summitates Sabinae 391.
Suspensor 363. 379. 407.
Symbionten 185 ff.
Symbiose 185. 186 ff.
Symmetrisch 12.
Symmetrieverhältnisse 12.
Sympetalae 514.
Symphytum 525.
Sympodial 401.
Sympodium *14.
Syncarp 396.
Synergiden *76. *405.
Syringa *518. 519.
Syrupus Cerasorum 475.
— Mororum 447.
— Ribium 470.
— Rubi idaei 474.
Systeme 263.

Tabak s. Nicotiana.
Tabaschir 152.
Tabernaemontana 522.
Tagesperioden 211. 239.
Tagesstellung der Blätter 237. 239 ff.
Tagetes 547.
Tamarindus *476. 478. *479.
Tamus 430.
Tanacetum 547.
Tanne 391.
Tapetenzellen 348. *373.
Taphrina 313. *314.
Tapioka 491.
Taraxacum 545. *546. *548. 550.
Taubnessel s. Lamium.
Taumellolch 418
Tausendgüldenkraut 520.
Taxaceae 384. 385.
Taxodieae, Taxodium 385. 389. 394.
Taxus *384. 385. *386.
— Gefäßbündelverlauf*103.
Teakholz 526.
Tecoma 534.
Tectona 526.
Tee 499.
Teilfrucht 409.
Teleutosporen 319.
Tentakeln *89.
Temperatur, ertragbare 139. 140.
— Einfluß auf Wachstum 138. 208.
Temperaturwechsel als Bewegungsreiz 236.
— als Wachstumsreiz 209.
Teosinté 257.
Terebinthina 391.
Terebinthinae s. Gruinales.
Terminalia 505.
— Catappa, Schwimmfrucht *259.
Termiten als Pilzzüchter 190.
Ternstroemiaceae 499.
Testobjekte 278.
Testudinaria 430.
Tetraden 334.
Tetradenbildung 370. 404.
Tetragonolobus 481.
Tetrasporen *295.
Teucrium 527.
Teufelsei 327.
Teufelszwirn s. Cuscuta.
Thalictrum 248. 455.
Thallophyten 10. 265. 367.
Thallus 7. 10.
Thamnidium 307.
Thea 499. *501.
Theca *395.
Theïn 181.
Thelephora, Telephoreen 322. 329.
Theobroma *497. *498.
Theobromin 181. 497.
Thermotropismus 233.
Thesium 513.
Thigmotaxis 216.
Thlapsi 468.
Thuja 387.
— Keimung *42.
Thyllen *108. 110.
Thymelaeaceae, Thymelaeinae 503.
Thymolum 528.
Thymus, Thymian 527. 528.
Tiere, in Symbiose 188.
— als Befruchtungsvermittler 251.
— Samenverbreiter 259.
Tierfangende Pflanzen *190. *191.
Tilia 496. *497.
— Struktur des Holzes und Bastes *114.
Tiliaceae 496.
Tilletia, Tilletieen *317. 318.
Tollkirsche 529.
Toluifera 483.
Tolypellopsis 300.
Tomate 532.
Tomentella *316.
Tonische Prävalenz 223.
Tonoplast 51.
Topinambur 547.
Torf 171.
Torfmoose 340. 342.
Torsionen, hygroskopische 220.
— geotropisch-exotropische 229.
— der Schlingpflanzen 231.
— der Ranken 235.
Torus 57.
Toxine 273.
Tozzia 533.
Tracheale Gewebeart 111. *112.
Tracheen 79. 92. 111.

Tracheïden *58. *62. 92. 110.
Tradescantia 424.
— Plasmaströmung in Haaren *51.
— Fragmentation der Kerne *72.
— Epidermis und Spaltöffnungen *85.
Tränen 160.
Träufelspitze 28.
Tragacantha, Traganth 483.
Tragblatt 15. 404.
Tragmodul 144.
Tragopogon 546.
Trajektorien 129.
Transpiration 163 ff.
Transpirationsstrom 161 ff.
Transversalgeotropismus 229.
Transversalheliotropismus 224.
Transversalstellungen 223 ff.
Trapa 505.
Traube *402.
Traubenzucker 67, s. auch Glukose.
Trauerbäume, Polarität 202.
Treiberei 212.
Tremella, Tremellineen *316. 321.
Trennungsschichten 122.
Trentepohlia 285.
Treppengefäß *79. 80.
Trichia 268. *269.
Trichogyn 296. 311. 315. 331.
Trichocaulon 523.
Trichomanes 353.
Trichome 41. 87.
Tricoccae 489.
Trifolieae, Trifolium 481.
Trigonella 481.
Trimorphe Heterostylie 255. 503.
Triplocaulisch 23.
Tripperkokken *273.
Triticum *416. 417. 418.
— Kornquerschnitt *65.
— Kornlängsschnitt *415.
Trockensubstanz 148.
Trockenstarre 241.
Tropaeolaceae, Tropaeolum 486.
— Chromatophoren *55.
— Wasserspalte *86.
— Tropfenausscheidung *166.
Trophoplasma 52.
Tropismen 222 ff.
Trüffeln 313.
Tsuga, Knospe *31.
Tuber, Tuberaceen 313. *314.
Tubera 20.
Tubera Aconiti 457.
— Jalapae 524.
— Salep 436.
Tuberkelbacillus *273.
Tubiflorae 524.
Tubuliflorae (Compos.) 546.
Tüpfel *56.
Tüpfelgefäß 80.
Tulipa, Tulpe 427. 428.
— Zwiebel *19.
Tulpenbaum 460.
Turgor 141 ff.
— -schwankungen als Bewegungsursache 237 ff.
Turio Pini 391.
Tussilago 547. *550.
Typhaceae 418.
Typhusbacillus *273.
Tyrosin 178.

Uebergangszellen 96.
Ulex 481.
Ullmannia 394.
Ulmaceae 445.
Ulmus, Ulme *446.
— Blattentwicklung *25.
Ulothrix *284. 285.
— Schwärmsporen, Gameten *75.
Ulva 284.
— Gestalt *8.
Umbella 402.
Umbelliferae 507.
Umbelliflorae 507.
Umstimmung der Reizbarkeit 216. 226. 232.
Uncaria s. Ourouparia.
Ungeschlechtliche Fortpflanzung 243. 246.
Unterständiger Fruchtknoten 398.
Uragoga 538. *539.
Uredineen 318.
Uredosporen 319.
Urginea *427. 429.
Urmeristeme 83.
Urtica 448.
— Brennhaare *87.
Urticaceae 448.
Urticinae 445.
Urzeugung 4.
Usnea *329.
Ustilago, Ustilagineen 316. *317.
Ustilaginaceae 317.
Utricularia 536.
— Blasen an den Blättern *36.
— Tierfang 191.

Vaccinieae, Vaccinium *515.
Vagina 25.
Vakuolen 47. 48. 51. 204.
Valeriana, Valerianaceae 540. *541.
Valerianella 541.
Vallisneria 413.
Vanilla *434. 436.
Vanillin 60.
Varec 294.
Variabilität 2.
Variation 2. 132.
— der Nachkommen 245. 257.
Variationsbewegungen 237 ff.
Varietätenbildung bei Bastarden 257.
Vasalparenchym 92.
Vasalprimanen 95.
Vasalteil 92.
Vaucheria 286. *287. 288.
Vegetationskegel *14. *24. *129.
Vegetationspunkt 8. 14. *24. *126. *127. *128. *129.
Vegetationsruhe 212 ff.
Vegetationsscheitel *8. 126.
Vegetative Befruchtung 407.
— Fortpflanzung 243. 246.
Veilchen 500.
Veilchenstein 285.
Velamen 90.
Velum 324.
Venusfliegenfalle *191.
Veratrum 426. 429.
Verbascum *533. 535.
Verbena, Verbenaceae 526.
Verbindungsfäden 73.
Verbindungsschlauch 73.
Verbreitung der Samen und Sporen 220. 257 ff.
Verdauungsdrüsen 89. 90. 168. *190.
Verdunstung s. Transpiration.
Veredlung *203. 204.
Vergeilung 209 ff.
Vergißmeinnicht 525.
Verholzung 60.
Verjüngung 56. 243 ff.
Verkieselung 84.
Verkorkung 60.
Verkürzung durch Turgor 239. 262.
Vermehrung, künstliche 202, s. auch Fortpflanzung.
Vernatio 31.
Veronica 533.
— cupressoides *169.
Verrucaria 329.
Verschiedengriffeligkeit *254.
Versteifung der Organe 140 ff.
Verwachsung, künstliche 203.
Verzweigung 13.
Verzweigungssysteme *13.

Vesicaria 468.
Vibrio *270. 274.
Viburnum 540.
Vicia 481.
Victoria 453.
Vielzellbildung *74.
Vinca 521. *523.
— Sklerenchymfaser *56.
Vincetoxicum *523. 524.
Vinum 496.
Viola 500. *501. *502.
— Blüte *400.
— Blumenblattepidermis *86.
— Drüsenzotte *89.
— Frucht *409.
— lutea calaminaria *148. 149.
Violaceae 500.
Viscaria *451.
Viscum 513. *514.
— Plasmodesmen *78.
Vitaceae 496.
Vitale Eigenschaften 136 ff.
Vitis *495. 496.
Vittae 81.
Viviparie 505.
Vogelbeerbaum 472.
Vogelblütige 252.
Vogelkirsche, Blattbildung *28.
Vollzellbildung 56.
Voltzia 394.
Volva 324. 327.
Volvocaceen, Volvox 282. *283.
Vorblatt 404.
Vorkeim 407.
Vorkerne 249.
Vorläuferspitze 28.
Vorspelze 416.

Wabenplasma 51.
Wabenstruktur organischer Substanzen 206.
Wacholder 387.
Wachs 62. *83. 84. 440.
Wachstum 199 ff.
— ungleichseitiges 221 ff.
Wachstumsbewegungen 214. 221 ff.
Wachstumskorrelationen 201 ff.
Wachstumskrümmungen 221 ff.
Wachstumsmesser 206. *207.
Wachstumsperiode, große 207.
Wahlvermögen 154. 156.
Walchia 394.
Waldmeister 538.
Walnuß *439.
Wanderung der Assimilate 178.
Wärme, Bedingung zum Leben 138.
Wärme bei Atmung 196.
Wärmestarre 241.
Wasser in Pflanzen 141. 148. 153 ff.
— Aufnahme des Wassers 156 ff.
— Ausscheidung 163 ff.
— Funktionen desselben 155.
— Imbibitions- 153. 155 ff.
— Konstitutionswasser 155. 175.
— Nähr- 156.
— Verbrauch bei Assimilation 175.
— als Atmungsprodukt 193.
— Schwell- 142. 205.
— bei Pollenübertragung 251.
— bei Samenverbreitung 259.
Wasserbahnen der Pflanze 161 ff.
Wasserbewegung in der Pflanze 159 ff.
Wasserblütige Pflanzen 251.
Wasserfarne 354.
Wassergewebe 83. *145.
Wasserhahnenfuß *26.
Wasserhaltende Kraft 159.
Wasserkelche 167.
Wasserkulturen 150.
Wasserlianen 161.
Wasserlinse 425.
Wassernuß 505.
Wassernetz 282.
Wasserpest 413.
Wasserpflanzen, Sauerstoffausscheidung im Licht *175.
— Intercellularräume 197.
— Befruchtung 251.
Wasserreservoire *145. 169.
Wasserschierling *510. 511.
Wasserspalten *86. 87.
— Funktion 167.
Wasserspeicher *145. 169.
Wasserstoff in Pflanzen 148 ff.
Wasserverbrauch von Pflanzen 165.
Wasserversorgung, besondere Einrichtungen 168.
Wegerich 536.
Weide *440.
— Polare *171.
Weidenröschen 505.
Weiderich 503.
Weihrauch 489.
Weihrauchkiefer 391.
Weinhefe 315.
Weinranken 496.
Weinsäure 68.
Weinstock 496.
Weißbuche 441.
— Keimpflanze *158.
Weißdorn 472.
Weißtanne 391.
Weizen *416. 417.
— Korn, quer *65.
— — längs 415.
Welken 142. 166.
Welwitschia 392.
Wermut 547.
Weymouthskiefer 391.
Wicke 481.
Wickel *13. 403.
Wilder Wein 496.
Willughbeia 522.
Windblütige 250.
Winde s. Convolvulus, Calystegia.
Winde-Etiolement 211.
Windepflanzen s. Schlingpflanzen.
Windwirkung *139. 140.
Wind als Pollen- und Samen-Transportmittel 250. 258.
Winterknospen *18. 90. 413.
— von Wasserpflanzen 246.
Winterruhe 212.
Wistaria 481.
Wohlverleih 548.
Wolffia 423.
Wolfsmilch 489.
Wollgras *414. 415.
Wollhaare 88.
Wollkraut 533.
Wolläuse 259.
Wucherblume 547.
Würger 534.
Würzelchen d. Keimlings 43
Wüstenpflanzen 168 ff.
— Wurzelsystem 157.
Wundenheilung 123. 182.
Wundgummi 182.
Wundholz 123.
Wundklee 481.
Wundkork 123.
Wurmfarn 349.
Wurzel 11. 37.
— Struktur 99.
— Dickenwachstum 116. *117.
— Vegetationsscheitel *128. *129.
— Verkürzung 262.
Wurzeldornen 40. 538.
Wurzeldruck 159 ff.
Wurzelhaare 38. 88. 100. *157. 158.
Wurzelhaube 11. 38. 130.
Wurzelhülle 90. 100.
Wurzelkautschuk 522.
Wurzelknöllchen *185. 274.
Wurzelknollen *39.
Wurzelmetamorphose 40.
Wurzelplanken *146.
Wurzelpol 202.
Wurzelstock 18. *19.
Wurzelsystem, Bodendurchsetzung 157.

Xantheïn 68.
Xanthophyll 54. 68.
Xanthoria *327. *328. 330.
Xenien 250.
Xerophyten 168.
Xylem 92.
Xylochrome 109.

Yamswurzel 430.
Yucca *403.
— Motte 190.

Zahnwurz, Bulbillen *18.
Zamia *381. *382.
Zanichellia 413.
Zaunrübe 543.
Zaunwinde 524.
Zea 418.
— Gefäßbündel *91. *92.
— Stengelquerschnitt *97.
Zellbildung, freie *75.
— durch Kopulation 76.
Zelle 45. *46. *47.
Zellengestalt 61.
Zellenlehre 45.
Zellenpflanzen 265.
Zellfäden 126.
Zellfamilien 281.
Zellflächen 126.
Zellfusionen 77.
Zellhaut 45. 55. 58.
Zellkern *46. *52.
Zellkörper 126.
Zellplasma 46.
Zellplatte 73.
Zellräume 47.
Zellsaft 47. 67.
Zellsprossung 76.
Zellteilung *69. *71. *73.
Zellverschmelzungen 77.
Zeugung, sexuelle 243. 249 ff.
— vegetative 243. 246.
Ziegenbart 323.
Zimt, Zimtkassie 462.
Zingiber, Zingiberaceae 432. *433.
Zink in Galmeipflanzen 149.
Zinnia 547.
Zirbelkiefer s. Arve.
Zitterpilze 321.
Zittwer 433.
Zoogloea 270.
Zoosporen 281.
Zostera 413.
Zuchtwahl 2.
Zucker 67.
Zuckerahorn 160.
Zuckerkiefer 391.
Zuckerrohr 418.
— Wachs *83.
Zuckerrübe 449.
Zuckertang 289.
Zugfeste Konstruktion *145.
Zunderschwamm 324.
Zweiachsig 23.
Zweihäusig 253. 375.
Zweizeilig 12.
Zwerghafte Ausbildung 170. *171.
Zwergmännchen 286.
Zwergkiefer 391.
Zwetsche 474.
Zwickel 82.
Zwiebel *19. 20.
— brut 246.
Zwischenzellräume 81.
Zwitter 253.
Zwittrig 394.
Zygnema, Zygnemaceen 280.
Zygomorph 12. 401.
Zygomycetes 305.
Zygophyllaceae 487.
Zygospore 266. 279. *306.
Zygote 266.
Zymase 179.
Zymogene Bakterien 272.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

E. M.

Bot
S
Strasbur
Lehrbu

DATE.

Oct 8/44
Feb 20/42
Nov 29/55

Biological
& Medical